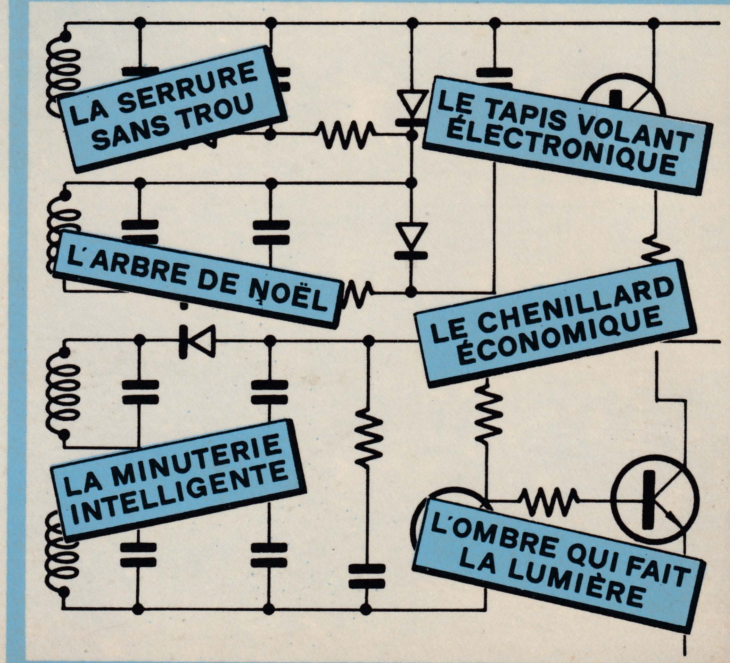
Technique poche

MONTAGES ÉLECTRONIQUES divertissants et utiles

H. SCHREIBER

ISSN 0153-0984



Editions Techniques et Scientifiques Françaises

MONTAGES ÉLECTRONIQUES
divertissants et utiles

DANS LA MÊME COLLECTION :

N° 1. « 30 montages électroniques d'alarme » par F. Juster.
N° 2. « Tables de mixage et modules de mixage » par Siegfried Wirsum.
N° 3. « 20 montages expérimentaux optoélectroniques » par G. Blaise.
N° 4. « Initiation à la micro-informatique : le microprocesseur » par P. Melusson.
N° 5. « Montages électroniques divertissants et utiles » par H. Schreiber.
N° 6. « Applications des dispositifs photosensibles » par J.-P. Œhmichen.
N° 7. « Les égaliseurs graphiques » par F. Juster.
N° 8. « Pianos électroniques et synthétiseurs » par H. Tünker.
N° 9. « Recherches méthodiques des pannes dans les récepteurs de radiodiffusion » par Dr Adolf Renardy et Ing. Heinz Lummer.
N° 10 « Les enceintes acoustiques » par M. Hemardinquer et M. Léonard.
N° 11 « Structure et fonctionnement de l'oscilloscope » par R. Rateau.
N° 12. « La construction des petits modèles de chemin de fer électriques » par J.-C. Porterie.
N° 13 « Horloges et montres électroniques à quartz » par Horst Pelka.
N° 14. « Les cellules solaires » par F. Juster.
N° 15. « L'électronique appliquée au cinéma et à la photo » par M. Horst.
N° 16. « L'électronique dans les trains miniatures » par H. Jungmann.

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que « les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droit ou ayants-cause, est illicite » (alinéa premier de l'Art. 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les Art. 425 et suivants du Code Pénal ».

© 1979 - E.T.S.F.

H. SCHREIBER

MONTAGES ÉLECTRONIQUES divertissants et utiles

(2e édition, revue et corrigée)

Diffusion :

EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES
2 à 12, rue de Bellevue – 75940 PARIS CEDEX 19

Table des matières

1. **Le clignotant qui s'éteint le jour** 11
   Principe 11
   Réalisation 14

2. **La minuterie qui n'oublie pas** 17
   Etude du schéma 19
   Réalisation et mise au point 20

3. **La minuterie intelligente** 25
   Principe de fonctionnement 25
   Déclenchement manuel à double durée 27

4. **La voix qui traverse les murs** 31
   Principe 31
   Réalisation et expérimentation 33

5. **Le multivibrateur sans condensateur** 35
   Principe de fonctionnement 35
   Résultats expérimentaux 37
   Applications à l'éclairage 40

6. **Le thermomètre qui transmet à distance** 43
   Sonde de température 43
   Expérimentation et étalonnage 44

7. **La serrure sans trou** 47
   Serrure à deux fréquences 48
   Protection par circuit auxiliaire 49
   Oscillateur à deux fréquences 50
   Réalisation du module « serrure » 52
   Confection des bobinages 54
   Choix des condensateurs d'accord 55
   Mise au point 56
   Commande d'un triac 58
   Encore plus de sécurité 58
   Sécurité et consommation nulle au repos 60

8. **Les résistances qui ouvrent les portes** 63
Combinaison de deux résistances 64
Etages de puissance 65
Choix et équilibrage des résistances-clés 66
Combinaison de trois résistances 70

9. **L'ombre qui fait la lumière** 73
Principe 73
Circuit électronique 74
Expérimentation 75

10. **Le chenillard économique** 77
Principe de fonctionnement 78
Unité de commande 79
Le compteur en anneau 81
Réalisation et mise au point 83

11. **Le chenillard qui peut grandir** 89
Principe de fonctionnement 90
Schéma détaillé 93
Possibilités de programmation 94
Réalisation et installation 95

12. **L'arbre de Noël et le registre à thyristors** 99
Principe et schéma électrique 100
Fonctionnement du registre 100
Extensions 104
Réalisation des circuits 105

13. **Le tapis volant électronique** 111
Servomécanisme optoélectronique 111
Réalisation 112
Expérimentation 116

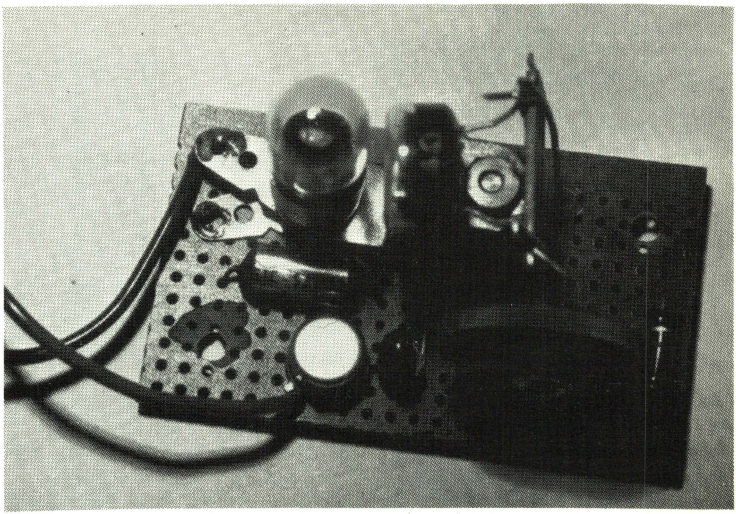
Introduction

L'électronique de divertissement

L'électronique de divertissement relève des apllications plus ou moins inattendues, étonnantes et spectaculaires de l'électronique. Or, en principe, l'électronique est une science, et la science, c'est sérieux, imposant et respectable.

Abandonnant ce sérieux pour le divertissement, on ne doit pas, pour autant, aboutir à l'inutile. En effet, certains des montages présentés dans ce livre plutôt comme des amusements, ont aussi des applications pratiques bien réelles. De plus, ces montages permettent, tout aussi bien que ceux de l'électronique professionnelle, d'acquérir des connaissances en matière de semi-conducteurs, de circuits, de réalisations pratiques. A cette différence près, qu'un montage de divertissement revient beaucoup moins cher qu'un montage professionnel.

En fin de compte, l'électronique de divertissement est donc quand même de l'électronique. Une électronique modeste, peut être, sans prétentions certainement, mais si gaie et si charmante.



1. – Le clignotant qui s'éteint le jour

La lumière clignotante est souvent utilisée pour attirer l'attention sur des points particuliers. A l'intérieur d'un bâtiment, il peut s'agir de l'emplacement d'un bouton de minuterie ou celui d'un interrupteur de secours, et à l'extérieur, ce sont notamment les chantiers ou les points dangereux pour la circulation qu'on signale par des clignotants.

Principe

Dans la plupart des cas, ce n'est que la nuit qu'un tel clignotant est utile. Par le truchement d'une photo-résistance, on peut réaliser une commande automatique qui arrête l'appareil, dès que l'éclairage ambiant atteint une certaine intensité. Mais cette photorésistance complique la réalisation du clignotant – à moins que, moyennant quelques idées nouvelles, on l'utilise précisement pour simplifier le montage. La figure 1 montre que cela est possible si on utilise la

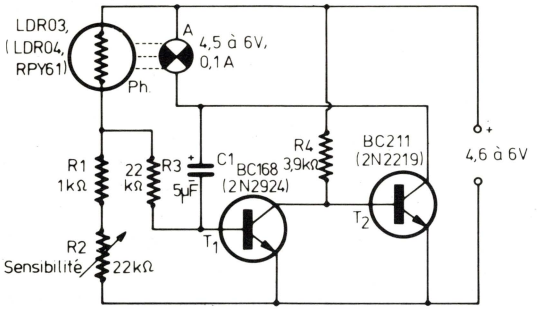


Fig. 1 – Une photo-résistance assure à la fois l'extinction diurne et l'entretien nocture du clignotant.

photo-résistance (Ph) dans une fonction double, c'est-à-dire pour assurer l'extinction automatique aussi bien que pour entretenir les oscillations d'un multivibrateur.

Le jour, la photo-résistance se trouve suffisamment éclairée (sa résistance est alors faible) pour que le diviseur qu'elle forme avec R_1, R_2, rende la base de T_1 suffisamment positive pour que ce transistor entre en saturation. Cela implique le blocage permanent de T_2, et l'ampoule A reste éteinte. Dans cet état de repos, il n'y a consommation d'énergie d'alimentation que dans R_1, R_2, et R_4. L'intensité d'alimentation correspondante s'élève à 2 mA environ, et cela est peu devant la consommation en régime de fonctionnement.

Quand l'éclairement ambiant diminue, la résistance de Ph peut

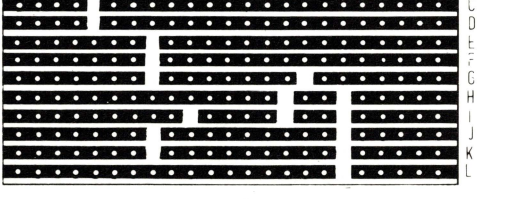
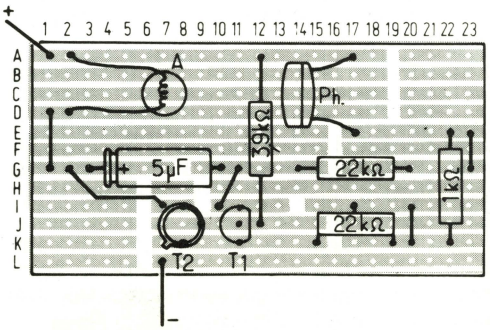


Fig. 2 – Plan d'une platine imprimée, conforme au schéma de la figure 1.

devenir suffisamment grande pour que T_1 ne reçoive plus une intensité de base suffisante pour maintenir T_2 bloqué. L'ampoule va alors s'allumer, et elle éclaire de nouveau la photo-résistance. Cependant, cette photo-résistance ne peut agir sur T_1 que lorsque la charge que C_1 avait accumulée auparavant s'est écoulée par R_3, et par R_1, R_2. Ainsi, l'ampoule reste allumée pendant une fraction de seconde. En s'éteignant, elle provoque la charge de C_1, et comme T_1 reste conducteur pendant toute la durée de cette charge, l'alternance d'extinction dure aussi une fraction de seconde. Eventuellement, cette durée peut se trouver prolongée par la constante de temps de la photo-résistance, dont la résistance n'augmente que lentement, lorsque l'éclairement cesse, et d'autant plus lentement, que cet éclairement a été plus violent. En disposant la photo-résistance immédiatement à côté de l'ampoule, on obtient ainsi des éclairs brefs, entrecoupés de passages d'extinction plus longs. Ce rapport cyclique peut être modifié, en éloignant Ph de A.

La résistance ajustable R_2 commande la sensibilité envers l'éclairage ambiant. Lorsqu'on l'ajuste sur sa valeur maximale, le clignotant ne commence à fonctionner que pour un éclairement ambiant relativement faible, soit, pour indiquer une référence, un éclairement à peine suffisant pour lire un journal. Avec la valeur minimale de R_2, le fonctionnement peut être obtenu pour un éclairement ambiant nettement plus fort. Bien entendu, l'orientation de la photo-résistance possède également une certaine influence sur cette sensibilité, et il est possible d'obtenir une atténuation en obscurcissant une partie de la surface de la photo-résistance par un morceau de ruban adhésif non translucide. Il est à noter que l'ajustage de R_2 possède une certaine influence sur la cadence du clignotement. Par ailleurs, on peut augmenter cette cadence en diminuant C_1, et inversement.



Réalisation

La figure 2 illustre la transplantation sur circuit imprimé du schéma de la figure 1. Les dimensions de cette platine peuvent être plus réduites, si on ne monte pas, comme dans le cas de la maquette, l'ampoule et la photo-résistance directement sur le circuit. Si on désire travailler avec une tension d'alimentation supérieure à 6 V, il suffit d'augmenter R_4, proportionnellement à cette tension.

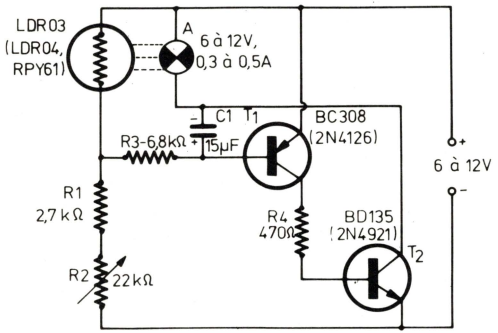
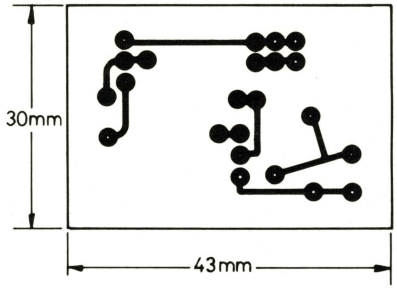


Fig. 3 – Schéma d'un clignotant automatique de moyenne puissance. Le montage complémentaire permet une certaine économie de l'énergie d'alimentation.

Le schéma de la figure 3 représente un clignotant de plus grande puissance (ampoules de 1,8 à 6 W). Pour T_1, on utilise un transistor de puissance, car, au moment de l'allumage (filament à froid) une ampoule de 0,5 A demande une intensité voisine de 1 A. Cependant, la puissance dissipée dans T_2 reste très faible (fonctionnement par tout ou rien) et ce transistor n'a pas besoin de radiateur.

L'utilisation d'un PNP pour T_1 n'est pas une question de puissance d'éclairement, car rien n'empêcherait de reprendre, pour la version « puissance », le montage de la figure 1, en modifiant convenablement les valeurs des résistances. L'utilisation d'un PNP implique, cependant, une certaine économie d'énergie, au repos. En effet, dans le montage complémentaire, l'éclairement de Ph bloque simultanément T_1 et T_2. Le courant dans R_4 reste donc nul dans ces conditions, alors que, dans le montage de la figure 1, R_4 est constamment parcourue par une intensité supérieure à 1 mA. La figure 4 montre un plan d'implantation qui a été conçu pour le schéma de la figure 3.



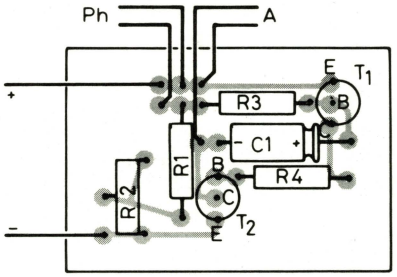
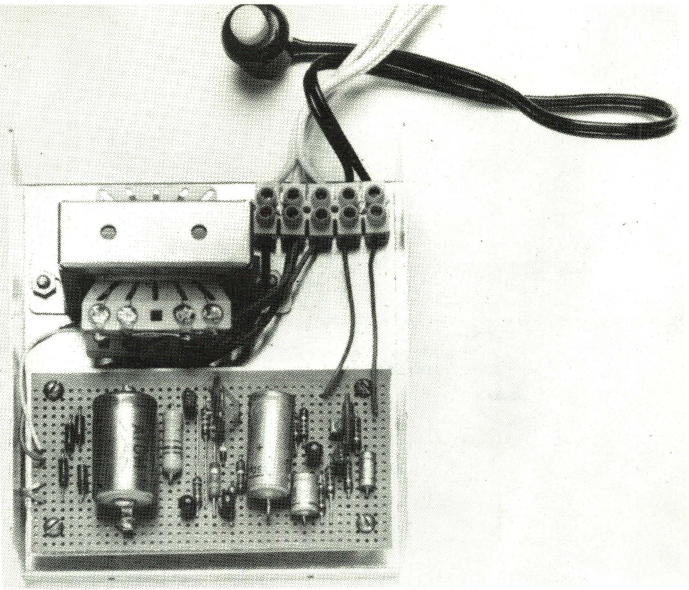


Fig. 4 – Plan d'implantation établi pour le montage de la figure 3.



2. – La minuterie qui n'oublie pas

La consommation d'énergie d'un éclairage d'escalier peut être réduite, si on utilise une minuterie « à mémoire », c'est-à-dire qui se souvient de la durée d'éclairage que l'utilisateur a programmée. Or, si on dispose, dans une telle installation, simplement de trois boutons, « court », « moyen » et « long », l'expérience prouve que tout le monde se sert du bouton « long », car, du moment où c'est la communauté qui paie...

Pour y remédier, il suffit d'imposer à l'utilisateur un certain effort de programmation. S'il désire un éclairage de longue durée, il devra appuyer plus longtemps, ou plusieurs fois de suite. Ne nécessitant qu'un bouton par palier, cette solution a aussi l'avantage de s'adapter à toute installation existante.

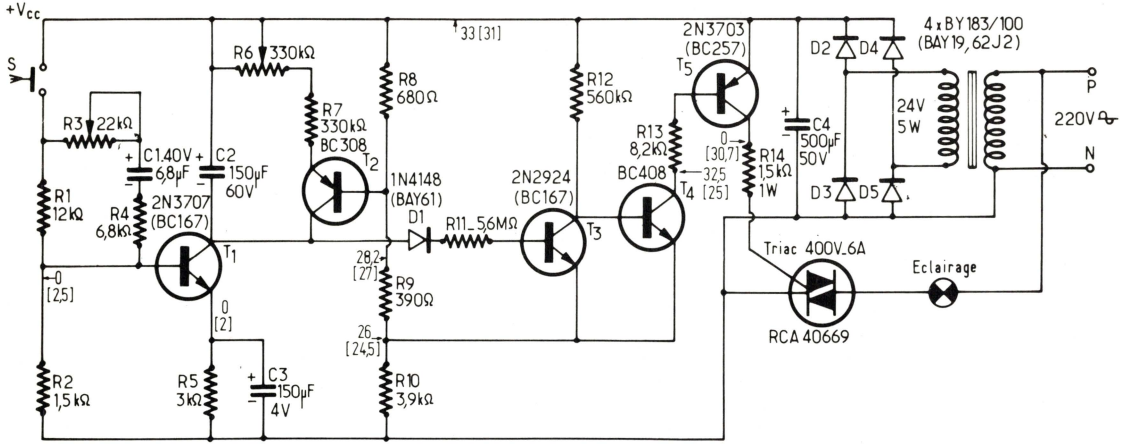


Fig. 1 – La « mémoire » de la minuterie est constituée par le condensateur C_2 et par ses circuits de charge et de décharge.

Etude du schéma

La « mémoire » est constituée par le condensateur C_2 (fig. 1). Comme ce condensateur doit présenter un faible courant de fuite, on utilise un type d'une tension de service relativement élevée. Lorsqu'on manœuvre la touche S, T_1 reçoit un courant de base, et il charge alors C_2. Comme, au départ, C_1 et C_3 se trouvent déchargés, les courants de base et de collecteur de T_1 sont importants. Même si S n'a été manœuvré que très brièvement, C_2 peut ainsi acquérir une charge suffisante pour pouvoir commander l'éclairage pendant une à trois minutes. La valeur exacte de cette « durée minimale » peut être ajustée par les réglages qui seront commentés plus loin.

Quand on maintient S fermée, la tension aux bornes de C_1, et de C_3 reste constante, et le courant de collecteur de T_1, déterminé par R_5 ainsi que le diviseur R_1, R_2, tombe à moins de 1 mA. La charge de C_2 se fait donc maintenant beaucoup plus lentement. En fonction de l'ajustage de R_6, on arrive ainsi à « mémoriser » 1,5 à 3 minutes d'éclairage, pour chaque seconde pendant laquelle on maintient S fermée, et ce jusqu'à un maximum de 6 à 12 minutes. Ce maximum (charge complète de C_2) peut être atteint un peu plus rapidement, quand on manœuvre S plusieurs fois de suite, de façon cadencée. C_1 et C_3 auront alors le temps de se décharger entre chaque manœuvre, d'où forte intensité de collecteur à la suivante.

Quand C_2 a acquis une charge, on effectue, par T_2, une décharge à intensité constante. Imposée par le diviseur R_8, R_9, R_{10}, ainsi que par les résistances d'émetteur, R_6, R_7, cette décharge pourra être cent ou deux cents fois plus lente que la charge due à une manœuvre prolongée de S.

La commande de l'éclairage se fait par un triac qui demande un courant de gâchette de 20 mA environ. Ce courant est fourni par T_5 qui est commandé, à son tour, par la bascule T_3, T_4. Au repos (C_2 déchargé), la base de T_3 reçoit du collecteur de T_2 une polarisation suffisante pour que T_3 reste saturé. Ainsi, T_4 et T_5 restent bloqués, et le triac ne conduit pas. Mais dès que la charge aux bornes de C_2 devient supérieure à 5 V environ, D_1 cesse de conduire, puisque l'émetteur de T_3 se trouve porté, par le diviseur R_8, R_9, R_{10}, à un potentiel relativement élevé. Tout en faisant partie du diviseur mentionné, R_{10} est aussi la résistance commune d'émetteur de T_3 et de T_4. Ces transistors peuvent donc effectivement fonctionner comme une bascule, et commander, via T_5, le triac de façon immédiate. Quand, à la fin du cycle d'éclairage, C_2 aura perdu suffisamment de charge pour que D_1 puisse conduire de nouveau, la bascule revient dans son état initial, et le triac se bloque.

Les tensions portées dans le schéma, valables pour le fonctionnement au repos, sont complétées par celles qu'on mesure pendant la manœuvre de S (entre parenthèses) et par celles relevées pendant le fonctionnement de l'éclairage (entre crochets). Toutes ces tensions ont été mesurées par rapport au conducteur N. On remarquera que ce conducteur est commun au réseau d'alimentation, alors que cela n'est le cas pour aucun des conducteurs menant à S. Ainsi, le schéma de la figure 1 n'est directement utilisable que si l'installation a été réalisée sous forme d'un réseau indépendant, pour les boutons de commande. Dans le cas contraire, il suffit de faire précéder le montage par l'étage auxiliaire de la figure 2, menant à une disposition telle que l'un des conducteurs de S est constitué par N.

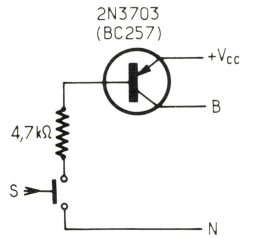


Fig. 2 – Etage auxiliaire ramenant la touche S à un conducteur de l'installation électrique.

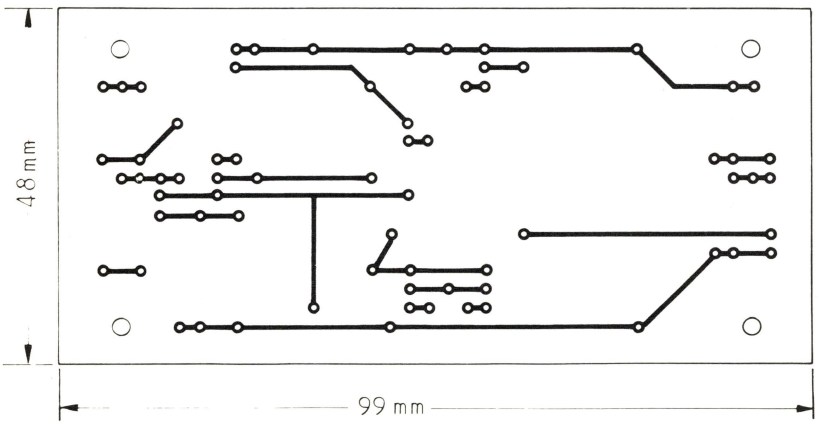


Fig. 3 – Plan de connexion de la platine imprimée, vu du côté cuivre.

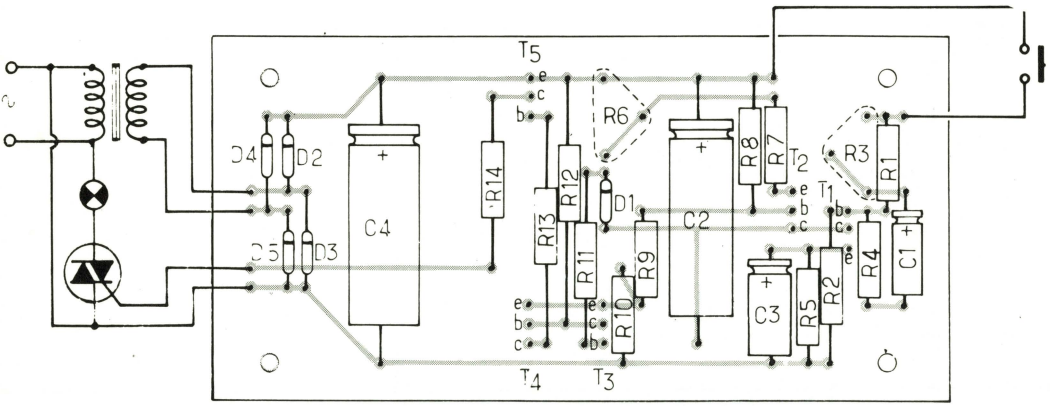


Fig. 4 – Plan d'implantation de la minuterie, vu du côté composants.

Réalisation et mise au point

Le plan d'implantation (fig. 3 et 4) a été conçu avec une distance de 2,54 mm seulement entre certaines des résistances du montage. En effet, sauf R_{14}, toutes les résistances du montage dissipent moins de 1/8 de W, et on peut donc utiliser des composants de taille très réduite. La figure 5 montre l'agencement du boîtier de la minuterie.

Lors de la mise au point, on pourra trouver, pour + V_{CC}, une valeur quelque peu différente de celle indiquée dans le schéma, car aucune stabilisation n'est prévue. Pour les autres tensions, on trouvera, évidemment, une valeur modifiée en proportion. Pour l'essai, on connecte une ampoule d'éclairage à la sortie du montage, et, manœuvrant S, on en provoque l'allumage. Puis, on laisse S fermée, pendant une dizaine de secondes, pour être sûr que C_2 se soit complètement chargé. Pour cela, on peut également mesurer la tension aux bornes de C_2, à l'aide d'un voltmètre électronique. Puis, on mesure le temps qui s'écoule jusqu'à l'extinction de l'ampoule. Pour $R_6 = 0$, cette durée sera de 6 minutes environ. La somme $R_6 + R_7$ étant proportionnelle à cette durée maximale de fonctionnement, il suffit d'augmenter R_6, si on veut la prolonger.Quand on aura obtenu le délai de fonctionnement désiré pour le cas de l'éclairage le plus long, on pourra passer à l'ajustage du délai minimal. Pour cela, on détermine d'abord la durée d'éclairage qu'on obtient après une manœuvre très brève de S, puis on modifie au besoin R_3, en sachant que cette durée minimale sera d'autant plus grande que R_3 est plus faible. La mise au point du montage se trouve alors terminée.

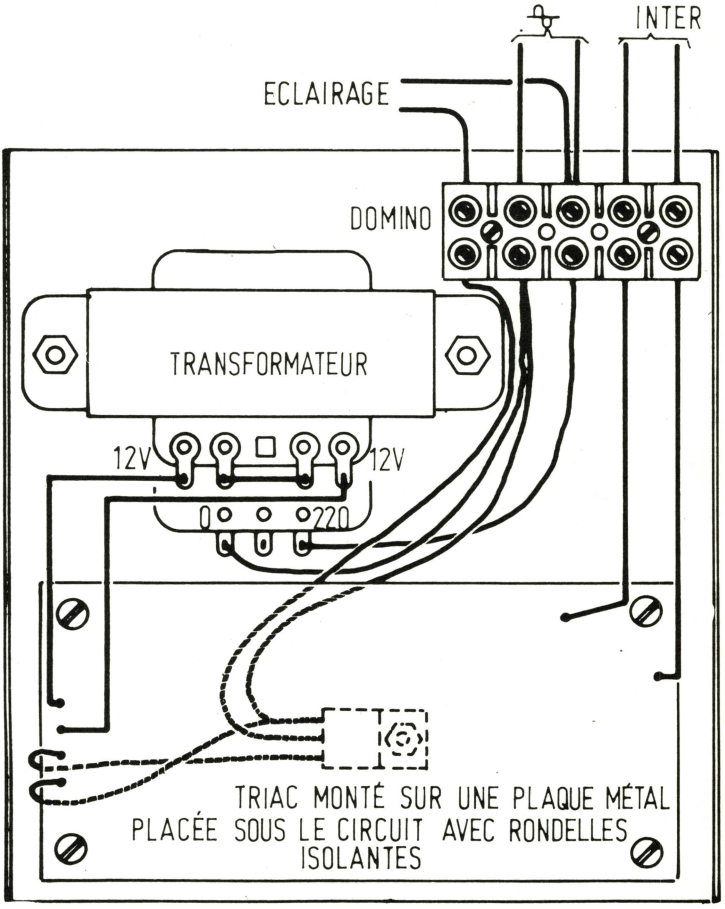
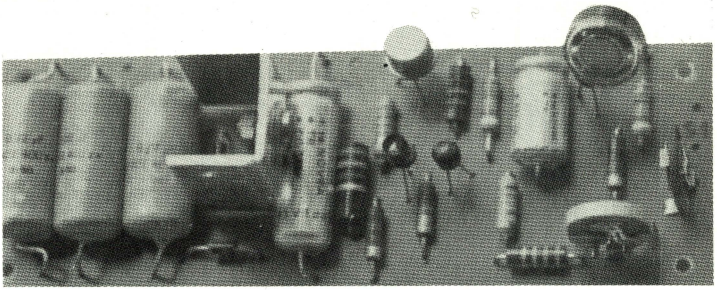


Fig. 5 – Dispositions des éléments dans le boîtier. Le triac se trouve monté sur une plaque d'aluminium (48 x 99 mm, épaisseur 1,5 mm), disposée parallèlement au circuit imprimé, et monté en-dessous de celui-ci.



3. – La minuterie intelligente

Les minuteries d'escalier ordinaires sont des engins absolument passifs. Ils ne savent même pas qu'elles sont utiles seulement la nuit. Mais il est possible de leur apprendre à ne fonctionner que lorsque l'éclairage ambiant est suffisamment réduit. De plus, on peut les rendre capables de « voir » les personnes entrant dans un immeuble, et de leur allumer l'éclairage sans qu'elles aient à chercher un bouton. Et pendant qu'on y est, pourquoi ne pas faire aussi comprendre à la minuterie qu'une personne qui monte a besoin d'éclairage pendant plus longtemps qu'une personne qui descend ?

Pour rendre la minuterie capable de distinguer entre jour et nuit, une photorésistance convient parfaitement et il est assez facile de faire en sorte que cette même photorésistance serve également à la détection de passages de personnes. Pour cela, il suffit de disposer d'une veilleuse qui éclaire la porte d'entrée en permanence. On fixe, par exemple, cette veilleuse en haut et à droite de la porte, et en bas, à gauche, on dispose la photorésistance de façon qu'elle soit obscurcie soit par une personne qui passe, soit par le battant de la porte.

Principe de fonctionnement

Dans le schéma de la figure 1, cette photorésistance (Ph) se trouve connectée entre base et émetteur d'un transistor T_1 dont la polarisation de base est assurée par R_1 R_2. Mais tant que la photorésistance se trouve éclairée (soit par la veilleuse, soit par la lumière

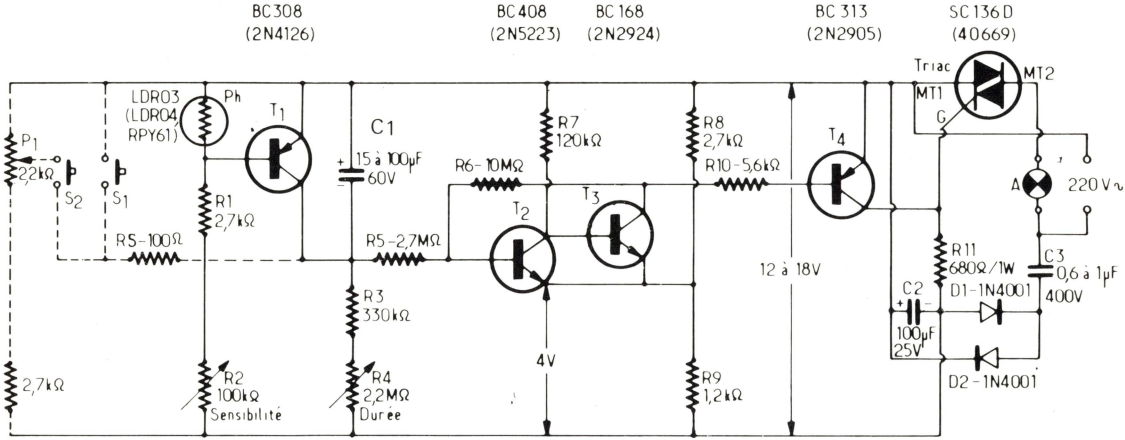


Fig. 1 – La minuterie est bloquée, pendant la journée, par une photorésistance qui sert, la nuit, à la détection des passages de personnes. Un déclenchement manuel, accessoire, permet des durées d'éclairage différentes pour la montée et pour la descente de l'escalier.

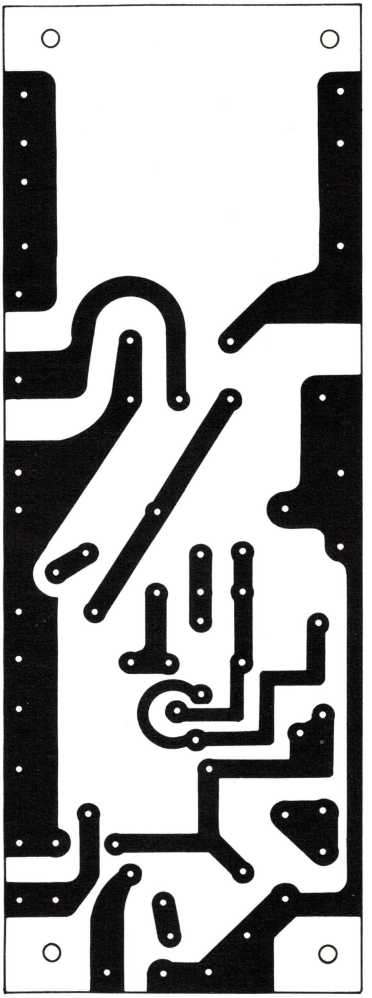
du jour), sa résistance est suffisamment faible pour dériver entièrement l'intensité de polarisation de base de T_1, et ce transistor reste bloqué. Il en résulte que T_3 est conducteur, car T_2 et T_3 constituent un trigger. Et comme l'intensité de collecteur de T_3 représente l'intensité de base de T_4, ce transistor conduit également, ce qui signifie qu'il dérive vers le positif de l'alimentation le courant véhiculé par R_{11}. Ainsi, ce courant ne peut atteindre la gâchette (G) du triac, et l'ampoule A (ou plusieurs, en parallèle) reste éteinte.

Pendant le jour, l'éclairage ambiant sera suffisamment intense pour que cet état de repos se maintienne, même si une ombre se trouvait projetée sur Ph. Si, exceptionnellement, on constatait le contraire, il suffirait de connecter une seconde photorésistance, en parallèle à Ph, qu'on disposerait de façon qu'elle capte exclusivement la lumière du jour. Mais le plus souvent, il suffira d'agir sur l'ajustage de sensibilité (R_2) de façon à obtenir le déclenchement de la minuterie seulement si la lumière ambiante est relativement faible.

Dans ces conditions, un obscurcissement instantané de Ph rendra T_1 conducteur, d'où décharge de C_1, basculement du trigger T_2, T_3, et allumage de l'ampoule. Cet état de fonctionnement durera jusqu'à ce que C_1 ait acquis une charge suffisante pour faire rebasculer le trigger dans son état de repos. Comme cette recharge s'effectue par des résistances d'assez grande valeur (R_4, R_5), elle peut durer plusieurs minutes. Pour avoir un ordre de grandeur, on peut admettre que cette durée est (en secondes) égale à trois fois la valeur de C_1 (en microfarads), R_4 étant ajustée à sa valeur maximale. Comme dans le cas de constantes de temps aussi importantes, l'intensité de fuite de C_1 peut jouer un rôle, il est indispensable d'utiliser, pour ce composant, un condensateur de bonne qualité et supportant au moins une tension de 60 V. Comme les condensateurs électrolytiques ont besoin de se « reformer » après un stockage prolongé, il est bon de connecter le composant à utiliser, avant montage, pendant quelques minutes sur une tension continue d'une vingtaine de volts. En fonctionnement normal, ce problème de « formation » ne se pose plus, car C_1 reste chargé au repos. Il est à noter que la décharge de C_1 s'effectue, lors d'un obscurcissement de Ph, même si A se trouve déjà allumée. Lorsque, après un premier passage, une seconde personne entre dans l'immeuble pendant que l'éclairage fonctionne encore, la minuterie se trouve donc remise dans l'état de départ d'éclairage.

Déclenchement manuel à double durée

Comme le déclenchement de la minuterie se fait par la décharge de C_1, il suffit de prévoir une touche (S_1) si on désire une commande



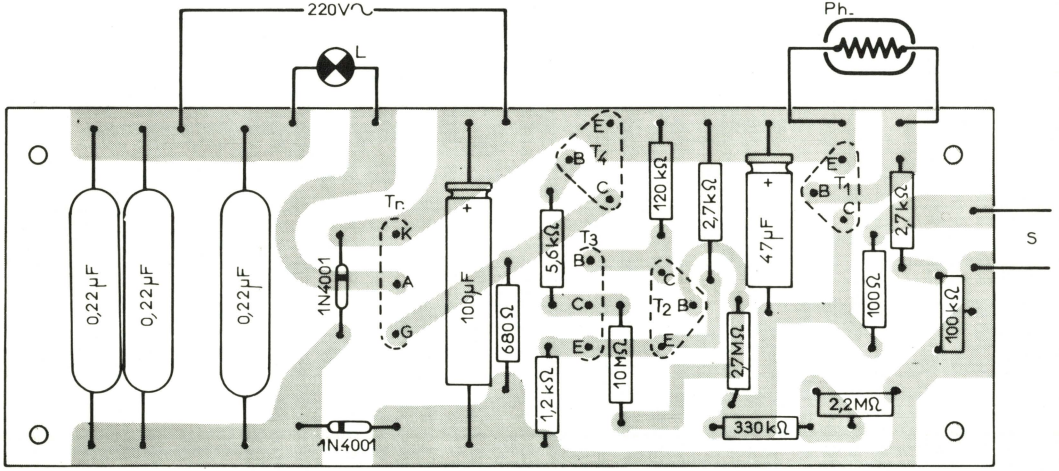
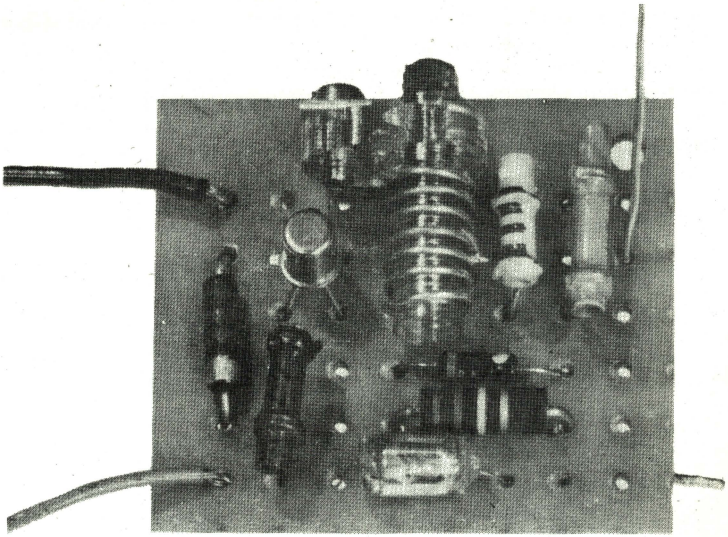


Fig. 2 – Plans de connexion (vue du côté cuivre) et d'implantation (vu du côté composants) du circuit de la minuterie automatique et à double durée. Les dimensions de la platine imprimée sont de 47 x 134 mm.

manuelle. Pour éviter toute étincelle de contact, il est avantageux de prévoir une faible résistance (R_s) en série avec la touche. Si on renonce entièrement au fonctionnement automatique, on peut supprimer T_1 et son circuit de base. Mais il est également possible de conserver le montage entier et de disposer Ph de façon qu'elle capte seulement la lumière du jour. On interdit ainsi tout abus diurne de la minuterie.

Dans la pratique, une personne qui monte l'escalier a besoin de l'éclairage pendant plus longtemps qu'une personne qui descend. Pour tenir compte de cette différence de durée, on peut s'arranger pour que les boutons de commande, disposés dans les étages, ne déchargent que partiellement C_1, alors que cette décharge sera entière, si l'impulsion de commande (automatique ou manuelle) part de la porte d'entrée. La touche S_2 (fig. 1, à gauche) opère une telle décharge partielle. L'un de ses contacts aboutit au curseur du potentiomètre P_1 qui permet de doser le niveau de décharge, c'est-à-dire d'ajuster la durée de fonctionnement qu'on obtient en commandant l'allumage à partir d'un palier d'étage. Il serait même possible d'opérer un dosage étage par étage, en utilisant plusieurs potentiomètres, montés comme P_1.

Ces circuits étant accessoires, ils n'ont pas été prévus sur la platine imprimée de la figure 2 qui contient, cependant, un emplacement pour la résistance R_s. Pour C_3 on a utilisé, pour des raisons de facilité d'approvisionnement, trois condensateurs de 220 nF dans la maquette. De ce fait, C_3 apparaît trois fois dans le dessin de la figure 2. Dans le schéma, la réactance de C_3 sert à provoquer une réduction de la tension d'alimentation de 220 V, de façon qu'on dispose de 12 à 18 V après le redresseur (D_1, D_2). On doit donc utiliser, pour C_3 un condensateur donné soit pour une tension **alternative** nominale de 220 V, soit pour une tension **continue** de 400 V. Lors de l'expérimentation, on devra prendre les précautions d'isolement qui sont nécessaires du fait que l'appareil se trouve directement relié à la prise de courant.



4. – La voix qui traverse les murs

En tournant les boutons de votre récepteur de radio, vous pouvez entendre toutes sortes de gens, parlant à des centaines ou des milliers de kilomètres de chez vous. Mais la personne qui parle dans la pièce à côté, vous ne pouvez pas l'entendre parler dans votre radio. Certes, au moyen d'un émetteur, vous pourriez, mais seulement si vous vous arrangez pour que le rayonnement radioélectrique dont il s'agit ici ne puisse pas sortir de chez vous, pour produire des perturbations aux alentours.

Principe

L'appareil décrit ci-dessous est un émetteur expérimental à modulation de fréquence, inspiré par le livre « Minispione », de Günter Wahl, Verlag Frech, Stuttgart. Il travaille dans gamme de radiodiffusion de 88 à 100 MHz (MF). Si vous l'utilisez avec une antenne d'une longueur de 70 cm, vous risquez de provoquer des brouillages

dans un rayon d'au moins 200 m. La portée peut être réduite par l'emploi d'une antenne plus réduite, et lors d'une utilisation sans antenne, l'engin n'émet guère plus de brouillage que tout récepteur ou téléviseur de type courant. On ne peut alors le capter que dans son voisinage immédiat, mais de part et d'autre d'une cloison, cela peut fonctionner.

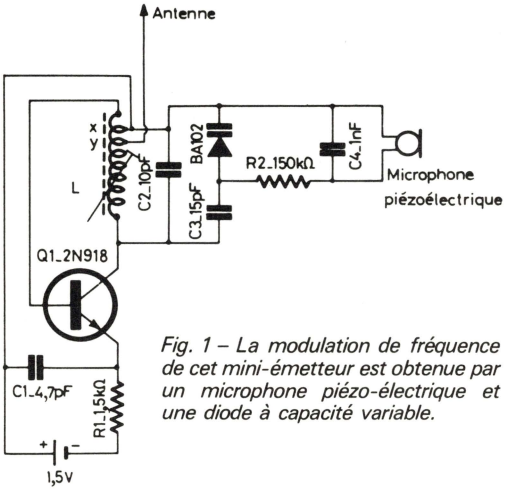


Fig. 1 – La modulation de fréquence de cet mini-émetteur est obtenue par un microphone piézo-électrique et une diode à capacité variable.

L'appareil dont la figure 1 montre le schéma se trouve alimenté par une pile « bouton » de 1,5 V, sa consommation étant de 0,5 mA environ. Le bobinage est à réaliser en fil de cuivre de 0,8 mm, argenté ou étamé. Il comporte sept spires au total, enroulées sur un mandrin (avec noyau d'ajustage) de 5 mm de diamètre, et ce avec un espacement tel qu'on obtienne une longueur d'enroulement de 12 mm environ. La prise d'alimentation (x) se trouve à 2,5 spires de l'extrémité connectée sur la base du transistor, alors que la prise d'antenne (y) est à effectuer à 3,5 spires de cette base. La tension produite par le microphone piézoélectrique module l'émetteur par l'intermédiaire d'une diode à capacité variable.

Par le noyau d'ajustage du bobinage, on accorde l'émetteur de façon à pouvoir le capter sur la gamme « Modulation de Fréquence » d'un récepteur. Si la course de ce noyau n'est pas suffisante pour obtenir cet accord, il convient de modifier le condensateur d'accord

C_2 (10 pF dans le schéma). On peut également utiliser un condensateur ajustable à sa place. Comme base et collecteur du transistor reçoivent un même potentiel continu, la puissance d'émission dépend essentiellement de la résistance d'émetteur, R_1. On peut donc modifier cette puissance, ainsi que la consommation sur la pile, en jouant sur la valeur de R_1. La puissance d'alimentation qui est de 1,5 mW environ avec $R_1 = 1{,}5\ k\Omega$, passe ainsi à 4,5 mW pour $R_1 = 470\ \Omega$, ou à 0,7 mW pour $R_1 = 3{,}3\ k\Omega$.

Réalisation et expérimentation

Le spécialiste de la miniaturisation arrivera à réaliser ce montage sous forme d'un assemblage où tous les composants se tiennent les uns par les autres, sans aucun support matériel. Dans ces conditions, émetteur et pile peuvent être logés dans une boîte d'allumettes. Cependant, l'encombrement ne sera pas beaucoup plus important, si on adopte le mode de réalisation illustré par la photographie et les plans (figure 2) ci-contre. Le montage a été réalisé sur une plaquette « pastillée » au pas de 5 mm. Une plaquette « Veroboard » serait également utilisable, mais on n'arrivera à des capacités réparties suffisamment réduites que si on enlève rigoureusement toutes les bandes de cuivre qui ne sont pas utilisées en tant que connexions. Bien entendu, le « vrai » circuit imprimé constitue la solution idéale.

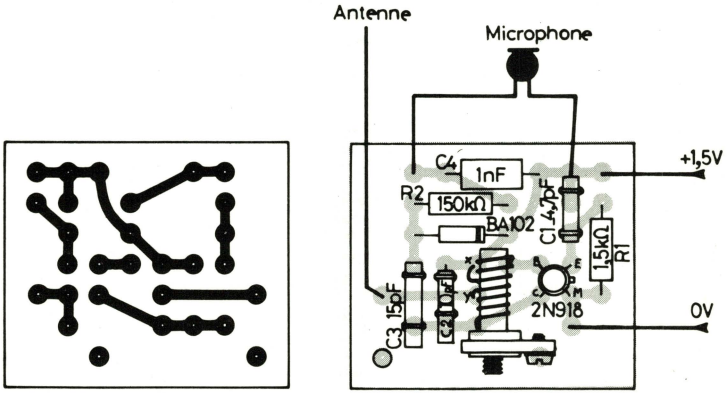
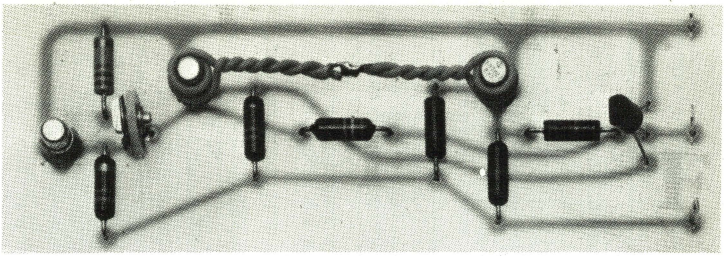


Fig. 2 – Plans de connexion et d'implantation de l'émetteur miniature. Dimensions : 41 x 46 mm.

Le bobinage peut être réalisé en enroulant les sept spires d'abord jointivement sur le mandrin. Puis, on étire la spirale ainsi obtenue sur une longueur totale de 15 à 20 mm, de façon à pouvoir effectuer commodément la soudure des prises, constituées par des fils de 0,6 mm, soudés à plat sur la face extérieure du fil d'enroulement. Finalement, on comprime la spirale sur une longueur totale de 12 mm, on la remet sur le mandrin, et on oriente les quatre fils de sortie de façon qu'ils entrent facilement dans les perforations de la platine imprimée.

Les seules valeurs critiques du schéma sont les condensateurs d'accord, C_2 et C_3. Pour C_1, l'utilisation d'une valeur nettement plus forte est parfaitement possible. Quant aux autres éléments, on peut s'écarter de $\pm$ 30 % des valeurs indiquées, sans que cela modifie le fonctionnement de l'appareil.

L'expérimentation de la maquette a permis de constater que la fréquence d'émission peut être ajustée, par le noyau du bobinage, entre 83 et 100 MHz. Lors d'un essai de portée, il est parfaitement possible de remplacer le microphone piézoélectrique par une tête d'électrophone de même type. Dans ces conditions, le fonctionnement de la maquette, munie d'une antenne de 10 cm, a été vérifié à l'intérieur d'une maison d'habitation. Installé dans la cave, l'émetteur a pu être parfaitement capté, au premier étage et à l'autre extrémité du bâtiment, avec un récepteur portatif de qualité courante.



5. – Le multivibrateur sans condensateur

Pour réaliser, suivant la conception classique, un multivibrateur dont la durée est de l'ordre de la minute, ou plus, on a besoin de condensateurs de très forte valeur. Ces condensateurs coûtent cher, tiennent beaucoup de place, présentent souvent des phénomènes de vieillissement, et sont parfois siège de courants de fuite gênants.

Il est néanmoins possible d'éviter tous ces défauts en faisant appel à un principe thermique, car ce principe permet de remplacer le condensateur par un simple morceau de fil de cuivre. Parmi ses applications, on peut citer la protection « dissuasive » de locaux inoccupés, au moyen d'ampoules d'éclairage qui s'allument ou s'éteignent, de temps en temps, dans diverses pièces de l'immeubles.

Principe de fonctionnement

Le schéma de la figure 1 comporte un élément producteur de chaleur, T_3, et un élément thermosensible, T_2. Leurs boîtiers se trouvent reliés par un pont thermique, constitué par le fil de cuivre dont il vient d'être question. Le courant de collecteur de T_2 doit être fonction de la différence de température entre le milieu ambiant et le boîtier. Il faut donc éliminer l'effet de la température ambiante, et cela est possible grâce à T_1, non relié au pont thermique, et utilisé comme référence.

Si T_1 et T_2 se trouvent à une même température, et si leurs bases se trouvent reliées ensemble, ils véhiculent, en principe, des courants de collecteur identiques. Mais si on ajuste convenablement R_2, le courant de collecteur de T_2, et la chute de tension sur R_4, pourront

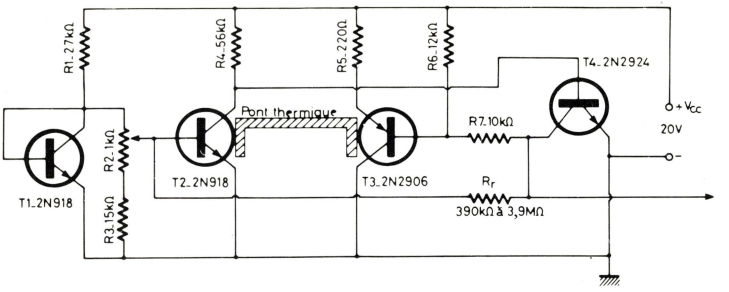


Fig. 1 – Le fonctionnement de ce multivibrateur est basé sur l'effet de température d'un transistor au silicium.

être suffisamment faibles pour que la base de T_4 reçoive la tension de 0,7 V environ, qui est nécessaire pour rendre conducteur ce transistor. Or, T_4 sert à polariser T_3 dont la résistance d'émetteur a été choisie de façon que T_3 dissipe une puissance de 450 mW environ. C'est un peu plus que le fabricant n'autorise, en absence de radiateur, mais le pont thermique possède, précisément, une fonction accessoire de radiateur, si bien que l'échauffement ne devient nullement excessif.

Dès que T_3 se trouve polarisé par T_4, la chaleur de dissipation se trouve transmise, par le pont thermique, sur le boîtier de T_2 dont le courant de collecteur va ainsi augmenter lentement. Au bout d'une durée de l'ordre de la minute, cette intensité de collecteur sera suffisante pour que T_2 approche de la saturation, et le courant de collecteur de T_4 va diminuer. Comme cela implique une augmentation de l'intensité passant par la résistance de réaction, le courant de collecteur de T_2 subit un accroissement supplémentaire, et on observe un basculement, suivi de la saturation complète de T_2 et du blocage de T_3, T_4. Le générateur de chaleur se trouvant ainsi arrêté, T_2 va refroidir, jusqu'à ce qu'il y ait basculement en sens inverse, etc.

Si la température ambiante évolue pendant le fonctionnement du multivibrateur, elle affecte simultanément tous les transistors du montage. Elle modifie donc la tension de base de T_1 de la même façon que le seuil de base de T_2, si bien qu'il y a compensation. Le fonctionnement du multivibrateur ne pourrait donc souffrir que d'une variation très rapide de la température ambiante, car, du fait de la masse métallique du pont thermique, les constantes de temps thermiques sont légèrement différentes, pour T_1 et T_2.

Résultats expérimentaux

Lors des premières expériences, le pont thermique avait été constitué par du fil de cuivre nu de 0,8 mm de diamètre. On en avait enroulé trois spires sur le boîtier de chacun des transistors, puis on avait torsadé les extrémités de chaque enroulement, de façon à serrer les spires sur les boîtiers. Finalement, les deux fils torsadés de chaque transistor avaient été coupés à 25 mm environ du boîtier, et les deux extrémités avaient été soudées ensemble, de façon à obtenir une distance entre boîtiers de 50 mm environ. La figure 2 illustre cette réalisation du pont thermique. Pour éviter tout problème d'isolement, on a avantage à utiliser, pour T_2, un transistor dont le boîtier est isolé des trois électrodes. Par contre, T_3 pourra être un type dont le collecteur est relié au boîtier, car cela implique une bonne transmission de la chaleur de dissipation.

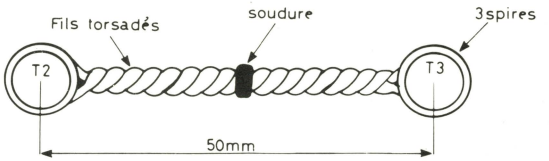


Fig. 2 – Le pont thermique est constitué par du fil de cuivre, enroulé autour des boîtiers des transistors. Un fil isolé permet de réduire les pertes de chaleur, mais il faut retirer l'isolement aux endroits où le fil doit entrer en contact avec les boîtiers.

Le fonctionnement du multivibrateur est illustré, dans la figure 3, par des enregistrements graphiques. La figure 3 a montré un exemple de fonctionnement symétrique, la durée d'une période étant de 70 secondes environ. Ce type de fonctionnement ne peut être obtenu qu'après ajustage convenable de R_2. De part et d'autre de cet ajustage, on observe un fonctionnement avec un rapport cyclique soit inférieur, soit supérieur à 1 (fig. 3b et 3 c), et on constate que la période devient d'autant plus longue que le rapport cyclique s'écarte plus de l'unité.

Alors que les expériences précédentes correspondent à une résistance de réaction $R_r = 3{,}9\ M\Omega$, la figure 3 d montre qu'on obtient une tension de sortie de forme légèrement trapézoïdale, quand on omet totalement cette résistance. Le basculement est alors de nature purement thermique, donc plus lent. Cependant, cette dis-

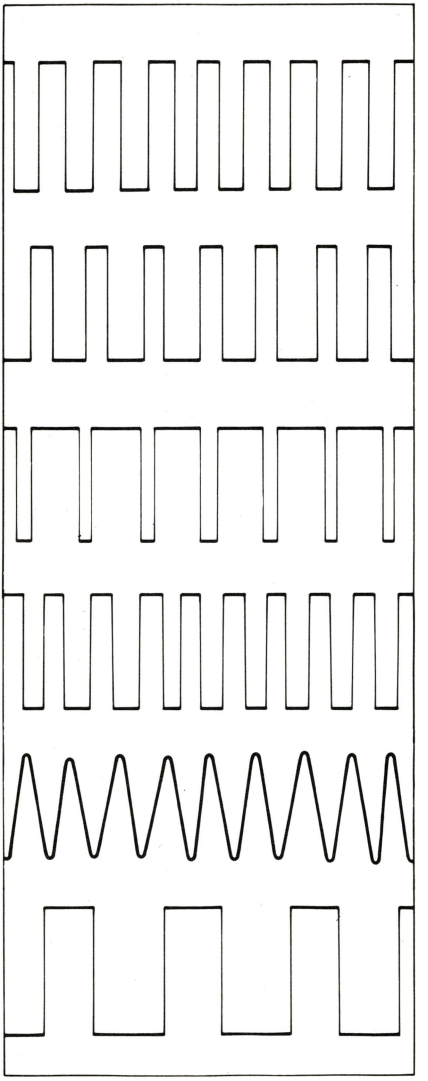


Fig. 3
Enregistrements graphiques des oscillations obtenues.

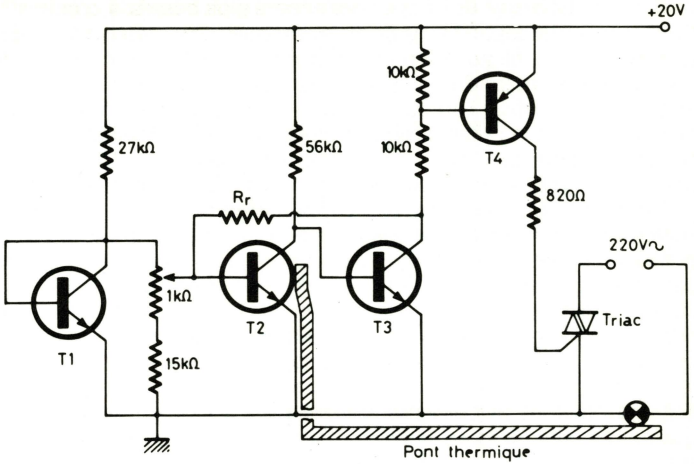


Fig. 4 – Dans le cas d'une commande d'éclairage, l'ampoule à incandescence peut servir d'élément chauffant.

position possède l'avantage de rendre impossible tout déclenchement intempestif du multivibrateur. Un tel phénomène peut arriver, lorsqu'on utilise une résistance R_r, notamment du fait des perturbations qu'on observe en milieu industriel. Pour éliminer l'effet de telles perturbations, il suffit de découpler, vers la masse, les collecteurs de T_2 et de T_4, et ce par des capacités de l'ordre du microfarad.

Un fonctionnement quasi-sinusoïdal, tel qu'il est illustré par la figure 3 e, peut être obtenu quand, tout en omettant R_r, on insère, dans la connexion de base de T_4, une résistance (100 à 200 kΩ) telle que le gain de la boucle thermoélectrique devient voisin de l'unité. Cependant, aucune régulation n'étant prévue, la stabilité de l'amplitude laisse quelque peu à désirer, et on observe une certaine influence de la température ambiante.

La fréquence des oscillations peut être diminuée quand on augmente l'hystérésis de la bascule T_2, T_4, en réduisant R_r. Cependant, on est limité, dans cette voie, par l'écart maximal de température qu'il est possible d'obtenir sur le boîtier de T_2. Pour cette raison, le multivibrateur cesse de fonctionner, quand on utilise, pour R_r, une valeur inférieure à 350 kΩ environ. Avec R_r = 390 kΩ, on a obtenu l'enregistrement de la figure 3 f, correspondant à une durée de période de plus de 2,5 minutes.

Si on veut obtenir des fréquences encore plus basses, il convient d'augmenter la capacité du pont thermique. Une expérience a été tentée avec un fil de 1,2 mm de diamètre et d'une longueur de 15 cm, plié en méandre, et inséré, par soudure, dans le pont thermique de la figure 2. Toutefois, un tel pont implique de fortes pertes de chaleur vers le milieu ambiant. Pour obtenir un fonctionnement correct, on doit donc prévoir un isolement thermique. Pour cela, on peut faire appel au polystyrène expansé, tel qu'il est couramment utilisé pour l'isolement thermique des bâtiments, et qu'on emploie également pour des emballages. On prépare le pont thermique, on le soude sur les deux ligatures des transistors. Puis, on creuse une petite plaque (épaisseur 10 à 20 mm) de polystyrène de façon à obtenir des évidements pouvant recevoir T_2 et le pont thermique, et ce en s'arrangeant pour que T_3 reste tout juste hors de l'isolement. Le travail d'usinage peut facilement se faire au fer à souder qui fait fondre très rapidement le polystyrène. Après avoir posé les composants dans les évidements, on pose, par dessus, une deuxième plaque isolante, et pour maintenir les deux plaques ensemble, on entoure le tout d'un ruban adhésif.

Avec ce montage, on a enregistré une durée d'une période voisine de 13 minutes. Des durées encore plus grandes peuvent être obtenues en augmentant à la fois le diamètre et la longueur du pont thermique. Si les pertes de chaleur deviennent alors trop importantes, on peut utiliser un transistor de puissance comme élément chauffant.

Applications à l'éclairage

Souvent, on a besoin d'un multivibrateur de très basse fréquence pour des applications telles qu'un éclairage intermittent d'un panneau de publicité, ou encore pour un « simulateur de présence », destiné à empêcher, par dissuasion, des visites nocturnes indésirables dans une maison inoccupée. Cela consiste à éclairer une pièce de l'immeuble de façon permanente, pendant la nuit, ou pendant une partie de la nuit, tandis que dans deux ou trois autres pièces, un multivibrateur allume, de temps en temps, une ampoule pendant quelques minutes. La figure 4 montre que l'élément chauffant peut alors être constitué par l'ampoule commandée. Le pont thermique peut être soudé directement sur le « culot » de cette ampoule.

Si on veut que le dispositif ne fonctionne que la nuit, il suffit de connecter une photorésistance, bien éclairée par la lumière du jour,

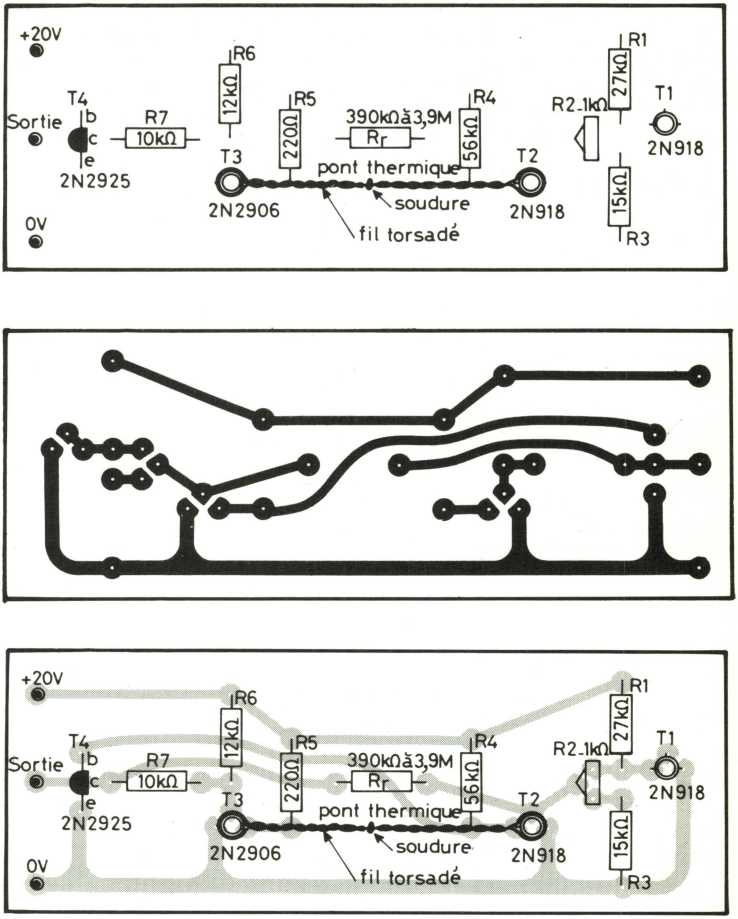
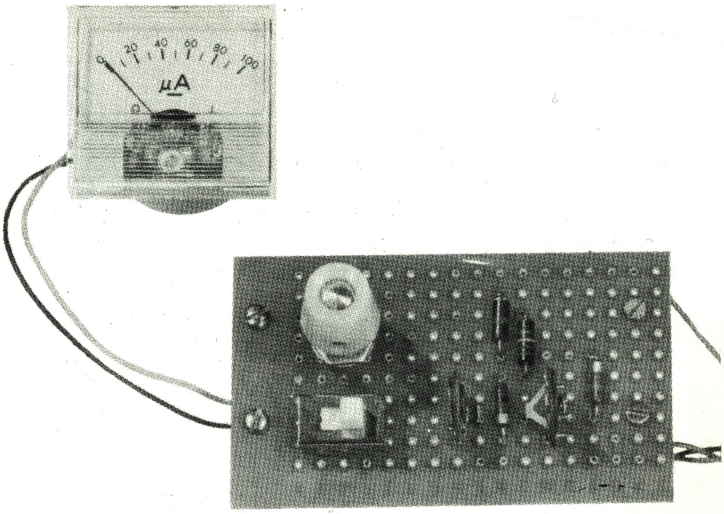


Fig. 5 – Réalisation.

mais non pas par celle de l'ampoule commandée, entre base et émetteur de T_4. Enfin, pour couper le simulateur vers minuit – sauf, éventuellement, une veilleuse dans une chambre d'enfant, – on peut se servir d'un émetteur local de radiodiffusion, capté par un petit récepteur qui transforme la porteuse de cet émetteur en un signal de commande pour l'installation. Quand les émissions s'arrêtent, la porteuse se trouve coupée, et il sera facile de s'arranger pour qu'il en soit de même pour le multivibrateur thermique.



6. – Le thermomètre qui transmet à distance

Vous voulez pouvoir fermer vos volets le soir, et néanmoins pouvoir connaître, le matin, la température qu'il fait dehors ? Grâce à l'électronique, c'est facile. Et le thermomètre décrit peut même servir à des applications moins courantes, telles que le contrôle, en divers points, de la température du moteur d'un véhicule. Là encore, la thermométrie à distance est très utile, car autrement, il faudrait constamment s'arrêter et descendre, pour regarder des thermomètres fixés sous le capot.

Sonde de température

Habituellement, c'est à l'aide de thermistances qu'on réalise les thermomètres électroniques. Ces composants possèdent, certes, une grande sensibilité aux variations de température, mais leur loi de variation n'est nullement linéaire, ce qui oblige à un étalonnage fastidieux et au dessin d'un cadran spécial pour le galvanomètre indicateur.

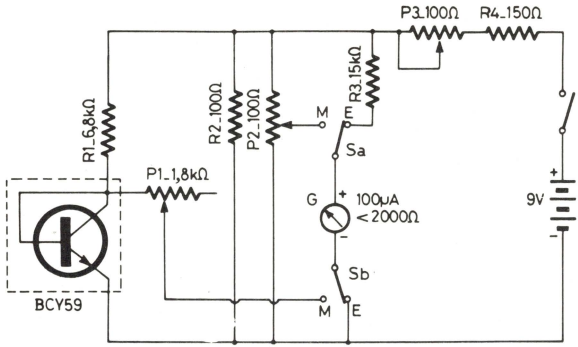


Fig. 1 – L'indication de température se fait, de façon linéaire, sur un galvanomètre qui mesure une tension qui varie de 2 mV par°C d'échauffement.

La solution proposée fait appel à l'effet de température de la tension de seuil émetteur-base d'un transistor au silicium. Cette tension montre non seulement une très bonne proportionnalité avec la température (et ce entre – 50 et + 150 °C), mais aussi une excellente stabilité. On a avantage à utiliser un NPN, BCY 59 A, BCY 66, 2 N 3405, ou similaire. Collecteur et base se trouvent reliés, et par R_1 on impose un courant de polarisation de 0,1 mA environ. L'indication se fait par un galvanomètre de 100 μA. Celui-ci permet une lecture directe de la température, si on adopte une plage de 0 à 100 °C. Comme cette plage de température correspond à une variation de 200 mV de la tension base-émetteur du transistor, il faut obligatoirement utiliser un galvanomètre dont la résistance interne est inférieure à 200 mV / 100 μA = 2 kΩ. Un galvanomètre 50 μA est utilisable, si sa résistance interne est inférieure à 4 kΩ. Si on tient à utiliser un galvanomètre dont la résistance interne est supérieure aux valeurs citées, on ne peut le faire qu'en élargissant la gamme de température, à 0... 150 °C, par exemple, pour un galvanomètre de 100 μA, 2800 Ω. Bien entendu, il faut alors que ce galvanomètre soit muni d'une échelle de 0 à 150.

Expérimentation et étalonnage

L'appareil comporte un commutateur « Mesure-Etalonnage » (M-E), deux ajustables de calibrage (P_1, P_2), et un potentiomètre P_3, permettant de compenser l'épuisement progressif de la pile d'ali-

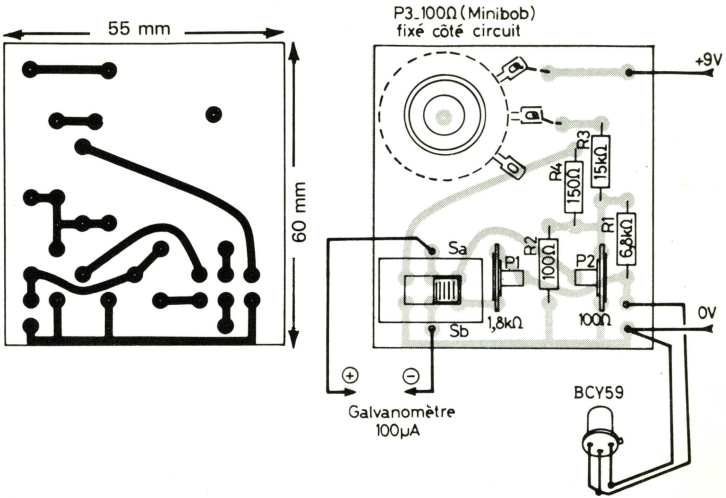
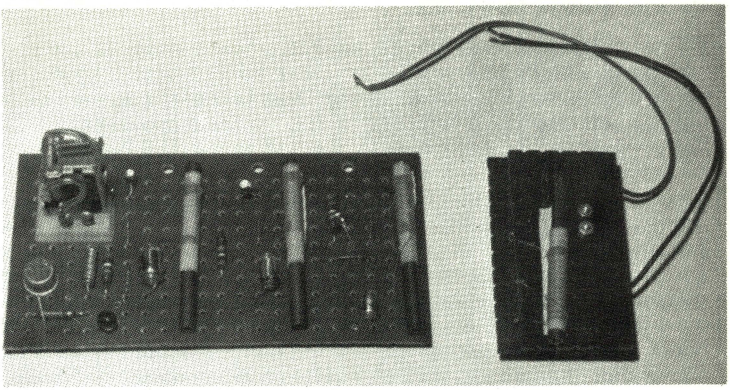


Fig. 2 – Plans de connexion et d'implantation pour le thermomètre électronique linéaire. Les dimensions de la platine imprimée sont 55 x 60 mm.

mentation. On commence par travailler en position « Etalonnage » et on ajuste P_3 de façon à observer la déviation totale du galvanomètre. Ensuite, on passe en position « Mesure », et on porte la « sonde », c'est-à-dire le transistor, à une température de 0 °C. Pour cela, il suffit de mettre quelques cubes de glace dans un verre, d'attendre que la glace soit à moitié fondue, de placer le verre dans un emballage de glace à emporter, et de plonger le boîtier du transistor dans l'eau. Ensuite, ajuster P_2 de façon que l'appareil indique zéro. L'ajustage sur 100 °C peut se faire en plongeant le boîtier du transistor dans l'eau bouillante, en tarant P_1 sur déviation totale. L'étalonnage est alors terminé.

Pour que l'appareil soit commode à utiliser, on a avantage à y connecter le transistor par deux fils souples, et d'enrober ce dernier dans de l'araldite, afin d'éviter tout contact électrique accidentel avec la sonde. Lors de toute mesure, il faudra attendre quelques secondes, avant que la sonde se trouve à une température égale à celle de son ambiance. Cette durée de réponse sera d'autant plus réduite que l'épaisseur de l'isolant, entourant le transistor, est plus mince.



7. – La serrure sans trou

Une porte sans poignée ni trou de serrure, et qui s'ouvre néanmoins avec une « clé »? C'est parfaitement possible, grâce à l'électronique. Et d'ailleurs, la serrure décrite peut être utilisée non seulement pour la porte d'une pièce d'habitation ou d'un placard, mais aussi pour commander le fonctionnement d'un téléviseur, d'un électrophone ou de tout autre appareil électrique.

La solution la plus élégante, en matière de serrure électronique, est certainement celle qui fait appel à l'action à distance (champ électromagnétique), car dans ce cas le dispositif est parfaitement invisible de l'extérieur, puisqu'il n'y a rien qui ressemble à un « trou de serrure ». En guise de « clé », ces dispositifs comportent généralement un petit oscillateur dont la fréquence doit être égale à celle du capteur de la « serrure ». Bien entendu, une telle serrure ne constitue aucun obstacle pour quiconque se présentant avec un oscillateur à fréquence variable. Cependant il est possible d'imaginer des serrures plus sophistiquées, offrant une plus grande sécurité. Les quelques exemples décrits ci-dessous montrent que l'augmentation de la sécurité n'implique nullement une complexité exagérée, et ce même quand on demande que le courant d'alimentatation de la serrure soit nul au repos.

Serrure à deux fréquences

Pour obtenir une plus grande sécurité, on peut imaginer une serrure qui ne s'ouvre que lorsque son capteur reçoit deux fréquences, de façon simultanée ou séquentielle. Dans le schéma de base de la figure 1, on dispose, à cet effet, de deux circuits oscillants $L_1 - C_1$ et $L_2 - C_2$ accordés, par exemple, sur 315 et sur 420 kHz. Chacun de ces circuits est suivi d'une diode de redressement (D_1, D_2), d'un condensateur de filtrage (C_3, C_4) et d'un circuit de limitation composé d'une résistance (R_1, R_2) et d'une diode (D_3, D_4), utilisée dans le sens direct. Pour L_1 et L_2, on utilise de petites antennes de ferrite qui peuvent donc capter le champ d'un oscillateur, muni d'une antenne de ferrite semblable, et se trouvant à une distance de quelques centimètres. Si les deux circuits oscillants du capteur de la figure 1 se trouvent excités sur leur fréquence d'accord, leurs deux diodes de redressement vont charger les condensateurs de filtrage, et on trouvera, sur chacune des diodes de limitation (D_3, D_4) une tension égale au seuil de conduction de ces diodes, soit de 0,4 à 0,5 V. Puisque les deux circuits se trouvent connectés en série, c'est la somme des deux tensions qui se trouve appliquée entre émetteur et base du transistor T_1. Et comme cette somme dépasse le seuil d'entrée du transistor, celui-ci pourra donc devenir conducteur.

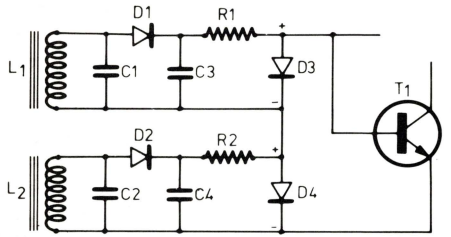


Fig. 1 – Tout en présentant une consommation nulle au repos, la serrure n'actionne que si ses deux circuits oscillants se trouvent excités par deux fréquences « clé » bien précises.

Si une seule fréquence est présente, celle correspondant à l'accord de L_1, C_1, par exemple, la tension aux bornes de D_3 pourrait atteindre 0,6 V, si on dispose d'un oscillateur très puissant. Mais, pour pouvoir commander T_1, il faudrait que cette tension puisse également vaincre le seuil de D_2, et pour cela, il faudrait près de 1 V. L'exemple montre que T_1 ne peut effectivement devenir conducteur, que si les deux fréquences sont captées à la fois, et avec une amplitude suffisante. On réalise donc bien une fonction logique « et », mais avec des moyens plus simples qu'avec une porte « et » classique, et surtout, avec une intensité d'alimentation parfaitement nulle au repos.

Néanmoins, le schéma de la figure 1 n'est à considérer que comme principe de base, car il n'offre que peu de sécurité. Il suffit, en effet, d'exposer les deux bâtonnets d'antenne au champ créé par un multivibrateur suffisamment puissant, pour que la serrure s'ouvre. Un multivribateur rayonne simultanément un spectre très dense d'une multitude de fréquences, et il est très facile de faire en sorte que deux de ces fréquences tombent dans la plage d'accord des deux circuits oscillants.

Protection par circuit auxiliaire

Pour se prémunir contre ces applications inattendues et malhonnêtes du multivibrateur, il suffit de disposer d'une troisième antenne, accordée, par exemple, sur une fréquence constituant la valeur moyenne des deux fréquences de travail prévues, et destinée à bloquer la serrure en cas d'attaque par multivibrateur. Puisqu'un tel générateur d'oscillations produit un spectre de fréquences très dense, l'une de ces fréquences tombera nécessairement aussi dans la plage d'accord du circuit auxiliaire, et il suffit de lui donner priorité pour être sûr que la serrure reste bloquée.

La figure 2 montre un schéma correspondant. Les circuits $L_1 - C_1$ et $L_3 - C_3$ sont accordés sur les fréquences « clé », et ils ont donc

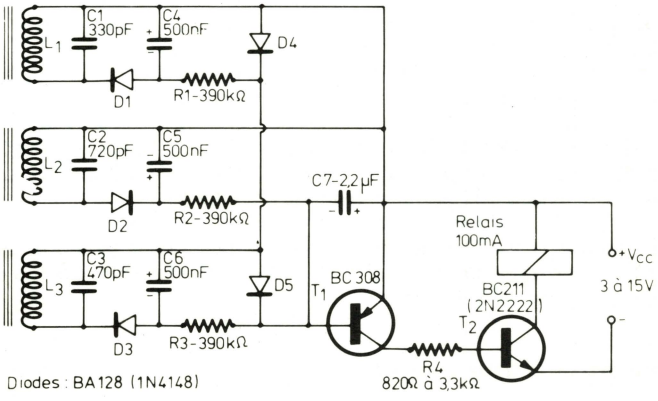


Fig. 2 – Serrure comportant un circuit auxiliaire de protection. Les valeurs des condensateurs d'accord n'étant données qu'à titre d'exemple, on peut les remplacer par une « combinaison » tout à fait personnelle.

la même fonction que les deux circuits L–C de la figure 1. C'est seulement quant à la polarité des diodes qu'on observe une différence, due au fait qu'on utilise un PNP en T_1. La diode D_2, redressant la tension captée par le circuit auxiliaire L_2, C_2, a été polarisée de façon à attaquer la base de T_1, via R_2, par une tension positive.

Cette tension pourra donc bloquer T_1, et, puisqu'aucune diode de limitation (semblable à D_4, D_5) n'a été prévue dans le circuit auxiliaire, ce blocage aura priorité. Comme le schéma l'indique, on a avantage à disposer le circuit auxiliaire au centre de la plaquette supportant les trois antennes de ferrite. Ainsi, la protection jouera même en cas d'approche latérale de l'antenne du multivibrateur.

Pour les condensateurs de filtrage (C_4, C_5, C_6), on peut utiliser des valeurs suffisamment fortes pour qu'ils conservent leurs charges encore quelques instants après l'interruption des signaux. Il devient ainsi possible d'utiliser, comme « clé », non pas deux oscillateurs, mais un seul, dont on commute très rapidement la fréquence d'une valeur à une autre. Cette disposition simplifie la réalisation de l'oscillateur, mais elle est sans influence sur la sécurité de fonctionnement.

Le relais d'ouverture de porte (fig. 2) se trouve commandé par un transitor NPN, T_2, attaqué par le collecteur de T_1. Aucun de ces deux transistors n'étant le siège d'un courant de collecteur au repos, la pile d'alimentation n'est sollicitée que pendant un instant très court, au moment de la commande d'ouverture. Une pile de type courant pourra donc facilement durer un an. Comme relais, on pourra utiliser tout type dont l'intensité d'excitation ne dépasse pas 100 mA, quand il se trouve alimenté par sa tension nominale. Cette dernière, égale à la tension d'alimentation (V_{CC}) du montage, pourra être comprise entre 3 et 15 V, à condition qu'on utilise une valeur adaptée pour R_4, soit 820 Ω pour 3 à 5 V, 1,8 kΩ au-delà.

Vu sa simplicité, le circuit de la figure 2 constitue un compromis acceptable entre le prix de revient et l'inviolabilité. Bien que cette dernière ne soit pas parfaite, ainsi qu'on le verra plus loin (réfléchissez déjà, cher lecteur, vous trouverez peut-être vous-même), il semble indiqué d'aborder dès maintenant la réalisation pratique de ce circuit, ainsi que de son oscillateur. Les compléments, décrits plus loin, pourront facilement y être ajoutés.

Oscillateur à deux fréquences

Le schéma de la figure 3 est celui d'un oscillateur dont la fréquence peut être modifiée par commutation de la capacité d'accord. Cette commutation peut être assurée, en même temps que celle

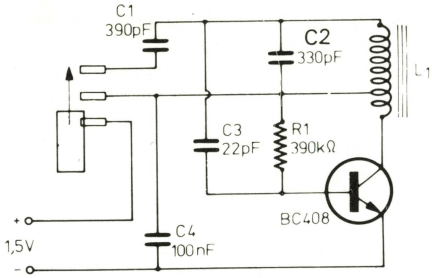


Fig. 3 – La « clé » est un oscillateur pouvant fonctionner de façon séquentielle sur deux fréquences différentes.

d'alimentation, par un commutateur à touche fugitive, capable de relier plusieurs contacts ensemble. Dans le dessin, ce commutateur se trouve au repos. Si on l'avance jusqu'au contact central, l'oscillateur se trouve alimenté, et il travaille alors sur une fréquence qui est définie par L_1 et C_1. Quand on déplace la touche encore plus loin, C_2 se trouve mis en parallèle à C_1, et l'oscillateur travaille alors sur une fréquence plus basse. On trouvera plus loin, à propos de la réalisation des bobinages, et du choix des condensateurs d'accord, quelques précisions sur les valeurs qu'on peut librement choisir, pour obtenir une « combinaison » personnelle.

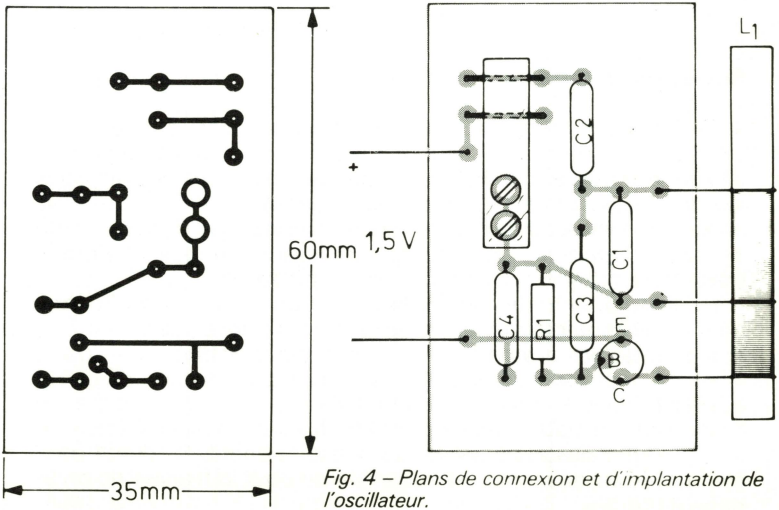


Fig. 4 – Plans de connexion et d'implantation de l'oscillateur.

Le plan d'implantation de cet oscillateur (fig. 4) montre comment on peut réaliser soi-même ce commutateur fugitif à trois positions. On utilise une petite bande de tôle élastique.(lamelle de pile de 4,5 V) qu'on plie en « J » et qu'on fixe sur la platine à l'aide de deux vis de 2 mm. En dessous de cette lamelle, on installe deux fils, à ras de la platine. En appuyant sur la lamelle, on la mettra donc d'abord en contact avec l'un des fils, puis avec les deux à la fois.

Une tension d'alimentation de 1,5 V est largement suffisante pour produire la puissance nécessaire pour commander le capteur à partir d'une distance d'au moins 5 cm. On peut, certes, obtenir une puissance plus importante en alimentant sous 3 V ou plus, mais on risque alors de créer des perturbations radioélectriques, et surtout, une puissance plus grande ne sert à rien, car, le circuit auxiliaire étant accordé au voisinage des fréquences « clé », il risque d'être excité par ces fréquences, quand on travaille avec une puissance trop forte.

Pour éviter tout amortissement du bobinage, le circuit imprimé ne devra pas comporter de grandes surfaces de cuivre au voisinage de ce bobinage. De même, on cherchera à éviter toute pièce métallique lors de la réalisation du boîtier. Quant à la pile, on aura également avantage à la choisir assez petite. Une pile « bouton » convient d'ailleurs parfaitement, car l'intensité d'alimentation de l'oscillateur est inférieure à 1 mA.

Réalisation du module « serrure »

La figure 5 montre le plan d'implantation correspondant au schéma de la figure 2. Ici encore, il est important de ne pas laisser des surfaces de cuivre inutiles en-dessous des bobinages et dans leur voisinage. Si on veut éviter le traitement chimique que cela implique pour le « copper-clap », on peut utiliser une plaque isolante simplement perforée, et fixer les composants en repliant simplement leurs fils sur la face arrière de la plaquette.

La distance entre les bobinages doit être au moins de 30 mm, pour éviter tout inter-action gênante. Une distance nettement plus grande n'est pas avantageuse non plus, car le bobinage de l'oscillateur ne pourra alors agir que s'il se trouve près de celui du circuit auxiliaire, dont le noyau de ferrite risque alors d'introduire un désaccord. Les bobinages peuvent être fixés sur la platine, soit avec une colle non dissoluble dans l'eau, soit avec un ruban adhésif double face, épais et souple, tel qu'on l'utilise pour la fixation de revêtements de sol.

Puisque l'espacement des bobinages doit être de 30 mm, on a, sur la platine, assez de place pour pouvoir prévoir un emplacement supplémentaire pour chacun des trois condensateurs d'accord. On peut ainsi, en utilisant deux condensateurs en parallèle, aboutir à des valeurs qu'on ne trouve pas couramment dans le commerce.

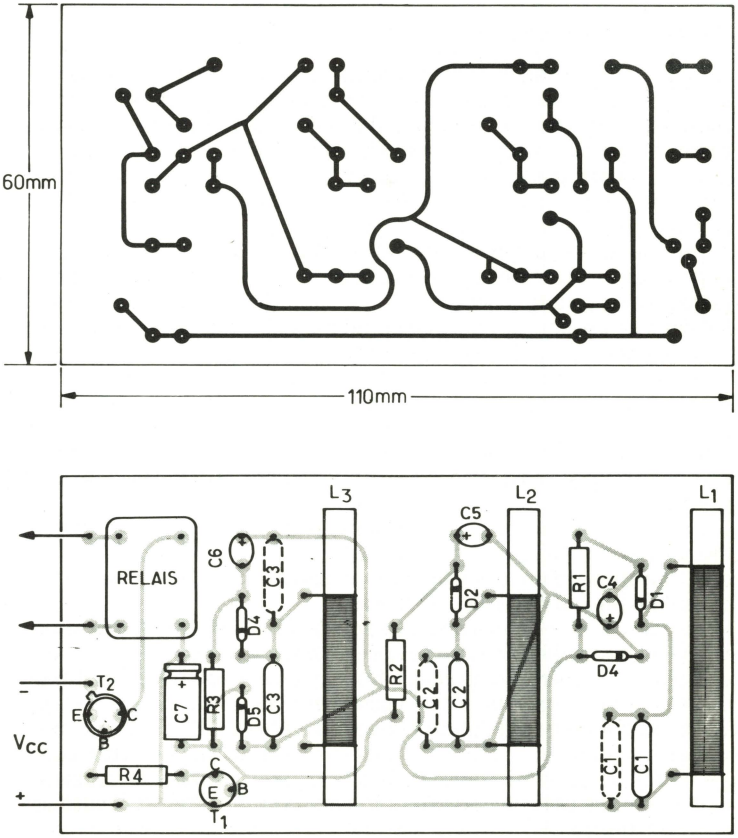


Fig. 5 – Plans de connexion et d'implantation du module capteur de la figure 2.

Le capteur de la figure 5 peut être fixé directement derrière la porte qu'on désire commander par la clé électronique, à condition, bien entendu, que cette porte soit en bois ou en matière isolante. Les dimensions assez grandes du relais peuvent alors poser un problème d'encombrement qu'on peut résoudre soit en montant ce relais à part, soit en surélevant les bobines à l'aide de supports isolants.

Confection des bobinages

Tous les bobinages sont à réaliser sur des bâtonnets de ferrite creux d'une longueur de 50 mm et d'un diamètre de 4,1 mm, le matériau étant du « Ferroxcube 3 B ». Comme support d'enroulement, on se sert d'un morceau de papier calque de 30 x 30 mm environ, qu'on enroule autour du bâtonnet et qu'on colle sur lui-même, de façon que le bâtonnet puisse glisser dans le tube ainsi confectionné avec un léger frottement.

Dans le cas de la figure 2, les trois bobines n'ont qu'un seul enroulement. Le nombre de spires doit être le même pour ces trois bobinages, et il peut être soit de 40, soit de 100, soit de 250. C'est à l'utilisateur de choisir l'un de ces nombres et qui fera partie, avec les valeurs des condensateurs dont il sera question plus loin, de la « combinaison-clé ». Le nombre qu'on aura ainsi choisi devra être aussi celui de spires de l'enroulement principal (aux bornes de C_1) de l'oscillateur de la figure 3. En revanche, l'enroulement auxiliaire (aboutissant au collecteur du transistor oscillateur) aura un nombre de spires égal à 1/10 de celui qu'on aura choisi pour l'enroulement principal.

Exemple : Si on a retenu le nombre 100, on doit, dans le capteur (fig. 2) utiliser 100 spires pour L_1, L_2, et L_3. Le bobinage oscillateur sera composé d'un enroulement principal de 100 spires et d'un enroulement auxiliaire de 10 spires.

La figure 6 a, relative à un bobinage de 40 ou de 100 spires, montre qu'on doit réaliser ces bobinages en appliquant une seule couche de spires jointives (juxtaposées). Pour que cela soit possible, il faut, évidemment, utiliser un fil suffisamment fin (fil de cuivre émaillé, verni, ou couvert de guipage textile, diamètre 0,08 mm à 0,2 mm). Si c'est un bobinage de 250 spires qu'on veut réaliser de cette façon, un fil très fin est nécessaire. A défaut, on peut bobiner en plusieurs « paquets » de couches à spires jointives, comme cela est illustré par la figure 6b.

Pour bobiner commodément, on peut se servir d'une chignole (perceuse à main) qu'on maintient dans un étau. On serre l'extrémité

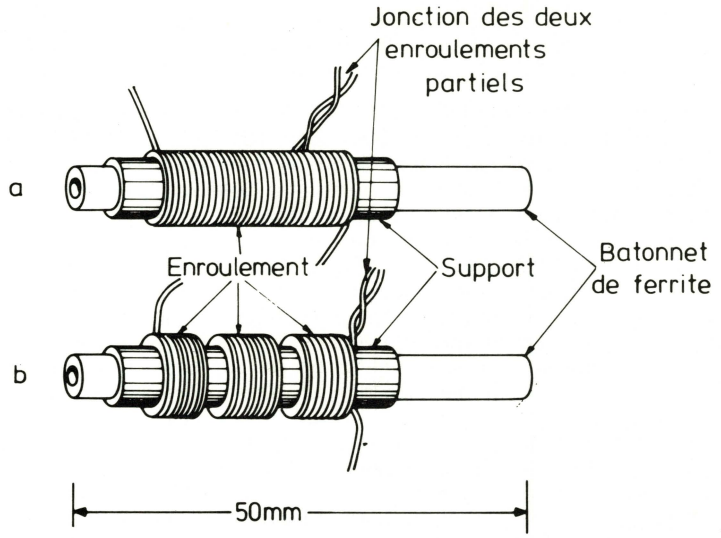


Fig. 6 – Les bobinages, dont le nombre de spires entre dans la combinaison « clé », comportent des bâtonnets de ferrite.

du bâtonnet de ferrite dans le mandrin de la chignole, après avoir entouré cette extrémité d'un morceau de ruban adhésif textile (chatterton). Autrement, la pression trop ponctuelle du mandrin risque de briser le bâtonnet. Après avoir glissé le support (papier calque) sur le bâtonnet, on fixe l'extrémité du fil à bobiner sur le mandrin de la chignole, à l'aide d'un morceau de ruban adhésif. Puis on bobine, en guidant le fil à la main, et en comptant les spires, ou les tours de manivelle, si on connaît le rapport de démultiplication de la chignole. Quand un enroulement est terminé, on maintient le fil tendu, et on fixe les deux extrémités de l'enroulement à l'aide d'une goutte de colle ou de cire (échauffée au fer à souder), avant de couper le fil.

Choix des condensateurs d'accord

Les « fréquences-clé » sont déterminées d'une part par le bobinage, d'autre part par la valeur des condensateurs C_1 et C_2 de l'oscillateur (fig. 3). Lors du choix de ces valeurs, on doit respecter certaines limites, qu'on peut exprimer par les règles suivantes :

1. – C_1 doit être comprise entre 120 pF et 800 pF.
2. – C_2 doit être supérieure à la moitié de C_1.
3. – La somme $C_1 + C_2$ doit être inférieure à 1 200 pF.

Exemple : On choisit $C_1 = 330$ pF. Il résulte de ce choix que C_2 doit être comprise entre $330/2 = 165$ et $1\,200 - 330 = 870$ pF. Puisqu'on est, là encore, absolument libre de choisir cet élément de « combinaison » entre les valeurs indiquées, on pourra, par exemple, prendre $C_2 = 390$ pF.

Après avoir ainsi choisi les capacités d'accord de l'oscillateur, on doit déterminer celles du capteur (fig. 2). Comme il doit y avoir identité d'accord pour les fréquences « clé », on doit prendre C_1 du capteur égale à C_1 de l'oscillateur, soit 330 pF dans le cas de l'exemple. De plus, C_3 du capteur doit être égale à $C_1 + C_2$ de l'oscillateur, soit 720 pF. Comme cette valeur ne se trouve pas couramment dans le commerce, on peut, bien entendu, procéder par la mise en parallèle de deux condensateurs (330 + 390 pF), la place correspondante étant prévue dans le plan d'implantation de la figure 5. Il reste maintenant à déterminer C_2 du capteur. Cette capacité doit accorder L_2 sur une fréquence intermédiaire entre les deux fréquences « clé ». La valeur de C_2 (du capteur) devra donc être égale à la moyenne de C_1 et de C_3. Comme les valeurs correspondantes étaient de 330 et 720 pF dans le cas de l'exemple, on devrait donc prendre $C_2 = (C_1 + C_3)/2 = (330 + 720)/2 = 1050/2 = 525$ pF. Toutefois, la moyenne (arithmétique) ainsi calculée ne convient pas tout à fait au problème posé, et c'est plutôt la moyenne géométrique qu'il faudrait prendre, racine de $C_1^2 + C_3^2/2 = 396$ pF. Mais la différence n'est pas très importante, puisque le circuit auxiliaire $L_2\,C_2$ est destiné à détecter un signal dont le spectre de fréquences est étendu. On pourra donc, si on ne sait pas effectuer le calcul de la moyenne géométrique, utiliser la moyenne arithmétique, et l'arrondir à la valeur normalisée immédiatement inférieure, soit 470 pF dans le cas de l'exemple.

Mise au point

Le plus souvent, aucune mise au point ne sera nécessaire, notamment lorsqu'on utilise des capacités d'accord égales ou plus fortes que celles de l'exemple précédent (les capacités réparties et accessoires du montage restent alors faibles devant celles d'accord) et quand on aura réalisé tous les bobinages de façon bien identique. Mais comme cela ne sera pas toujours le cas, certains de nos lecteurs auront peut-être besoin des indications qui suivent.

Avant de commencer la mise au point, on aura soin de positionner les noyaux de ferrite des bobinages comme cela est indiqué dans la figure 6, c'est-à-dire de façon légèrement excentrique. Sur le module capteur, on court-circuite provisoirement L_2, et on connecte un contrôleur universel (gamme 10 ou 30 V) ou, de préférence, un voltmètre électronique, aux bornes de C_4. Il est inutile d'alimenter le module capteur. Par contre, il faut mettre en service le module oscillateur, et ce de façon que seule la capacité d'accord C_1 soit mise en circuit. On approche l'oscillateur du capteur (bobines orientées parallèlement), jusqu'à ce que le voltmètre accuse une légère déviation. Ensuite, on déplace le bâtonnet de ferrite de L_1 (du capteur) à l'intérieur de son bobinage, dans le sens qui donne une déviation plus forte du voltmètre. Puis, on éloigne l'oscillateur du capteur pour retrouver la déviation de départ, et on agit de nouveau sur le bâtonnet de ferrite qu'on accorde maintenant à déviation maximale du voltmètre, l'oscillateur se trouvant à plus de 5 cm du capteur. Si ce maximum ne peut être obtenu que lorsque le bâtonnet de ferrite se trouve exactement au centre du bobinage, l'accord risque de ne pas être exact, et il convient de reprendre la mise au point après avoir donné, au bâtonnet de la bobine d'oscillateur, une position un peu plus excentrique, par rapport au bobinage.

Lorsque l'accord de L_1 a été correctement obtenu, on connecte le voltmètre aux bornes de C_6, et on procède comme précédemment, après avoir commuté l'oscillateur de façon que ces deux capacités d'accord soient mises en service simultanément. Ce n'est qu'ensuite qu'on lève le court-circuit aux bornes de C_2. Si on veut s'assurer du bon fonctionnement de ce circuit auxiliaire, on peut connecter le voltmètre aux bornes de C_5. Il ne déviera que très faiblement lors de la mise en service de l'oscillateur, même si on approche celui-ci à 2 ou 3 cm seulement. Eventuellement, on peut ajuster le bâtonnet de L_2 de façon à obtenir, pour les deux fréquences d'oscillation (commutateur de l'oscillateur), une déviation à peu près identique.

Après cette mise au point, on peut alimenter le module capteur, et vérifier le fonctionnement correct de T_1, T_2 en connectant une résistance de 100 kΩ environ entre la base de T_1 et le positif de l'alimentation. Le relais doit alors répondre, tout comme il le fera, dès lors, quand on manœuvre assez rapidement le commutateur de l'oscillateur, celui-ci se trouvant à une distance de 5 cm environ du capteur.

Commande d'un triac

Puisque le montage de la figure 2 délivre une intensité de commande de 100 mA à son relais, on dispose d'une intensité largement suffisante pour commander un triac à la place de ce relais. Un schéma correspondant est donné, dans la figure 7, simultanément avec une variante permettant de compléter la serrure par un dispositif « alarme cambriolage ».

Ce sont les circuits $L_1 - C_1$ et L_2 qui sont accordés sur les deux fréquences « clé », et ils commandent T_1, suivant le principe exposé à propos de la figure 1. Ce transistor attaque T_2 dont le collecteur commande le triac qui permet de faire fonctionner un relais d'ouverture (gâchette électrique) relativement puissant.

Pour la protection, on a prévu deux circuits auxiliaires, $L_3 - C_3$ et $L_4 - C_4$. Si quelqu'un tente d'utiliser un multivibrateur ou oscillateur à large bande en guise de « passe », au moins l'un de ces deux circuits sera excité. Comme aucun ne comporte de diode de limitation, il y aura priorité sur une éventuelle présence simultanée des fréquences « clé », si bien que T_3, T_4 et T_5 deviennent conducteurs avant T_1. Par T_4, on bloque alors T_2, ce qui empêche le fonctionnement du relais d'ouverture. Simultanément, T_5 commande un autre triac qui actionne un quelconque dispositif d'alarme (sirène, éclairage, etc.).

Quand on dispose comme dans le montage de la figure 7, de deux circuits auxiliaires, on peut accorder l'un d'eux, comme précédemment, sur la valeur moyenne des fréquences « clé ». L'autre devra être accordé sur une fréquence inférieure à la plus basse de ces deux dernières, car, dans le spectre d'un multivibrateur, les fréquences basses ont toujours une amplitude plus grande que les fréquences élevées.

Bien entendu, rien n'empêche l'adjonction d'un troisième circuit auxiliaire, travaillant à une fréquence plus élevée que tous les autres circuits. De même, il est, en principe, possible d'augmenter le nombre des fréquences « clé », mais l'oscillateur ne pourra plus alors être aussi simple que celui de la figure 3, et une vérification précise de la présence simultanée des trois fréquences ne peut plus, comme dans le cas des capteurs décrits, se faire par la simple mise en série des tensions redressées et limitées.

Encore plus de sécurité

Au fait, avez-vous trouvé comment on peut percer le secret des fréquences « clé » d'un montage comme celui de la figure 2 ou de

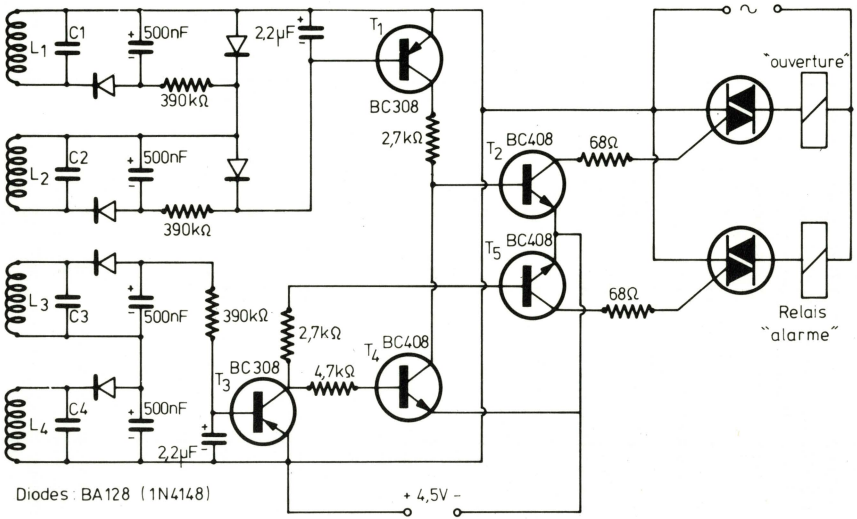


Fig. 7 – Serrure déclenchant un signal d'alarme en cas de tentative de violation électronique.

la figure 7, sans y avoir accès direct ? Rassurez-vous, ce n'est pas à la portée de n'importe qui. Il faut d'abord un appareil de mesure, un « grid-dip » assez sensible et très précis. Un tel appareil permet de mettre en évidence l'effet d'absorption d'énergie qu'un circuit oscillant excerce sur un oscillateur. Avec un tel grid-dip, il est parfaitement possible de mesurer la fréquence de résonance d'un circuit oscillant à travers une porte en bois. Mais comme, en l'occurrence, on a affaire à trois circuits qui agissent plus ou moins simultanément sur le mesureur, celui-ci ne donne pas des indications tout à fait exactes, et un calcul de correction peut être nécessaire.

Bref, si on posait ce problème au CAP du cambrioleur-électronicien, il n'y en aurait pas beaucoup qui l'auraient.

La détermination au grid-dip des fréquences « clé » devient encore plus difficile, si, à la place du capteur de la figure 2, on utilise un montage comme celui de la figure 7, où le nombre des circuits est supérieur à 3. Et comme ce grid-dip répond aussi sur des circuits qui ne sont reliés à rien, on peut parfaitement compliquer l'affaire par quelques circuits L-C, accordés sur des fréquences quelconques, et qu'on dispose à côté du capteur.

La figure 8 indique le principe d'une solution plus élégante, consistant dans l'utilisation d'un transistor « tampon », inséré entre un bobinage apériodique (non accordé) d'antenne, L_A, et les circuits accordés du capteur. Pour L_A, on utilise un bâtonnet portant un nombre de spires égal à 1/5 du nombre qu'on s'est fixé précédemment pour les bobinages de l'oscillateur et du capteur. Ce nombre pouvant être, comme cela avait été indiqué plus haut, de 40, de 100 ou de 250 spires, L_A comportera donc, respectivement, 8, 20 ou 50 spires. Pour coupler la sortie (collecteur) de l'étage tampon aux bobinages du capteur, on enroule, sur chacun des bobinages, encore autant de spires que sur L_A, et ce de la façon indiquée dans la figure 6. Il est donc très facile de transformer, en conséquence, le plan d'implantation de la figure 5.

Sécurité et consommation nulle au repos

L'étage tampon de la figure 8 consomme une intensité d'alimentation de l'ordre du milliampère. Cela est sans importance dans le cas d'une alimentation sur réseau, mais, si on se sert de piles, il faudrait les changer plusieurs fois par an. Et cela représente une dépense d'énergie parfaitement inutile, car il est possible de se servir de la clé en ferrite non seulement pour ouvrir la porte, mais aussi pour commuter, au préalable, l'alimentation de la serrure.

Un exemple de réalisation est donné dans la figure 9 où on retrouve, au centre, le circuit de la figure 2, à une inversion de pola-

Fig. 8 – Un bobinage capteur apériodique peut, par l'intermédiaire d'un étage tampon, exciter simultanément plusieurs circuits raccordés.

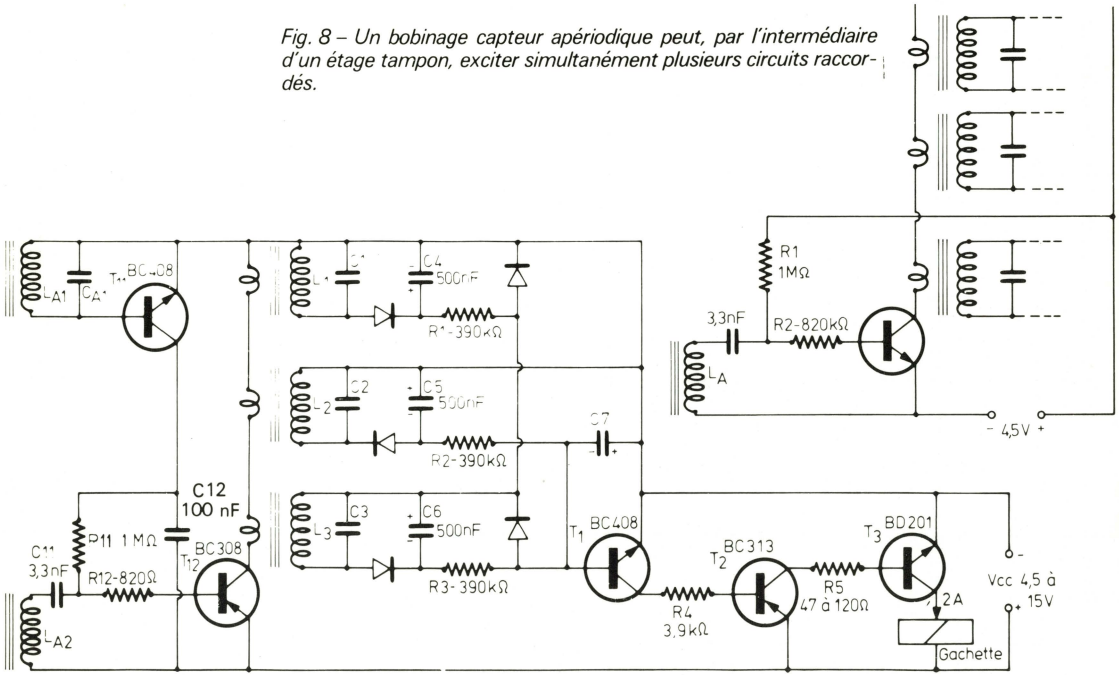


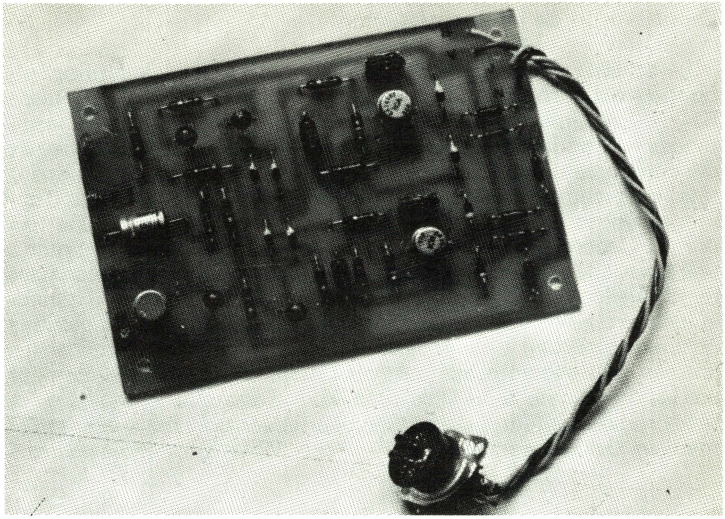
Fig. 9 – Dans ce montage à capteur apériodique, la consommation reste nulle au repos, grâce à un commutateur automatique d'alimentation. R5 = 47 Ω pour Vcc = 4,5 à 8 V, 120 Ω pour Vcc = 8,5 à 15 V.

rité près. Cette inversion a été jugée utile du fait qu'on a fait précéder le relais d'un transistor supplémentaire, T_3, capable de fournir une intensité pouvant atteindre 2 A à la gâchette électrique.

A l'entrée du montage, on trouve deux transistors, T_{11} et T_{12}, précédés chacun d'un bobinage d'antenne, L_{A1}, (accordé par C_{A1}) et L_{A2} (apériodique). C'est L_{A2} qui commande, par l'intermédiaire de T_{12}, le module capteur de la façon mentionnée à propos de la figure 8. Or, une telle commande n'est possible que si T_{12} se trouve polarisé, et cela implique que T_{11} soit conducteur à son tour.

Cela ne peut être le cas au repos, puisque T_{11} ne reçoit alors aucune tension de base. Mais si L_{A1} se trouve excitée par l'oscillateur, T_{11} pourra conduire pendant les crêtes de la tension fournie, d'où charge de C_{12}, et polarisation de T_{12} par T_{11}. Puisque la résistance de charge de T_{11} (R_{11}) est très élevée, le circuit de commutation d'alimentation répond déjà à un courant de base très faible dans T_{11}. De ce fait, il n'est pas nécessaire d'accorder L_{A1} exactement sur l'une des fréquences de l'oscillateur, et on peut parfaitement admettre une différence de plus de 10 % entre les deux fréquences d'accord. Ainsi, la mesure, au grid-dip, de la fréquence de résonance de $L_A - C_{A1}$ ne donnera pas une valeur permettant de déterminer l'une des fréquences « clé ».

La serrure ainsi élaborée assure donc une très grand sécurité, tout en présentant une consommation nulle au repos. Bien entendu, on peut encore la compléter par un dispositif d'alarme, tel qu'il avait été mentionné à propos de la figure 7.



8. – Les résistances qui ouvrent les portes

La serrure à commande électromagnétique, décrite dans le chapitre précédent, constitue certes une solution très élégante, mais elle est inapplicable dans le cas d'une porte métallique, et même en présence de masses métalliques environnantes. En pareil cas, une serrure basée sur des résistances de précision peut faire l'affaire. Cette solution évite, par ailleurs, la confection de bobinages, et présente une mise au point plus aisée.

Bien entendu, une seule résistance « clé » ne suffit pas, car on peut la remplacer par un potentiomètre qu'on manœuvre lentement, pour faire fonctionner la serrure. Mais déjà si on utilise deux résistances « clé » qu'on compare avec les résistances correspondantes de la serrure, à l'aide d'amplificateurs opérationnels, avec une précision de 1 %, on arrive à un total de 60 000 combinaisons possibles. C'est-à-dire qu'il faut plus de 30 heures pour les essayer toutes, si on est assez habile pour en former une nouvelle toutes les deux secondes. Et si on passe à une combinaison de trois résistances, la durée mentionnée dépasserait même 10 mois.

Combinaison de deux résistances

Le schéma de la figure 1 comporte deux amplificateurs opérationnels qui comparent une tension fournie par le diviseur interne R_{11}, R_{12}, à deux tensions fournies par des diviseurs dont les résistances « clé » font partie. Accessoirement, le circuit faisant office de clé comporte un contact qui joue un rôle d'interrupteur d'alimentation. De cette manière, on évite tout débit inutile des piles d'alimentation, et on peut se contenter de ne les changer qu'une fois par an. Cependant, la disposition de cette clé de contact permet à une personne à la fois suffisamment mal intentionnée, convenablement outillée et largement expérimentée, de mesurer de l'extérieur la tension d'alimentation qu'on a prévue et d'en tirer des conclusions qu'il est important de déjouer. Pour cela, il convient d'amener les entrées « + » des amplificateurs opérationnels non pas directement sur les douilles de la clé (il suffirait alors d'appliquer la moitié de la tension d'alimentation pour faire jouer la serrure), mais par l'intermédiaire des résistances R_1 et R_3. Accessoirement, ces résistances

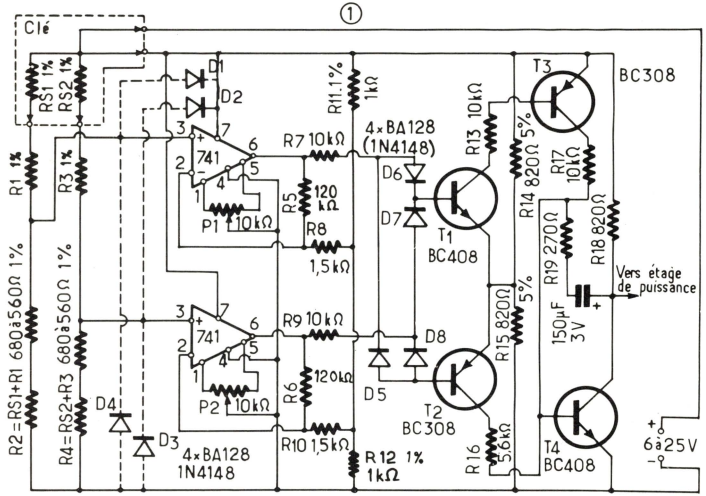


Fig. 1 – Procédant par combinaison exacte de résistances de précision, cette serrure fonctionne avec une clé qui sert accessoirement d'interrupteur d'alimentation.

peuvent protéger les entrées des amplificateurs opérationnels contre toute surcharge volontaire, appliquée sur les douilles de clé dans un but destructif. Cette protection peut encore être améliorée, si on installe les diodes dessinées en pointillé (D_1 à D_4). Cependant, elle risque de ne plus jouer dans le cas d'une tension de surcharge externe de plus de 100 V, à moins qu'on n'utilise, pour R_1 et R_3, des résistances de forte dissipation.

L'état d'équilibre des comparateurs est obtenu quand $R_{S1} + R_1 = R_2$, et quand s multanément $R_{S2+R3} = R_4$. La tension aux entrées « + » des amplific ateurs opérationnels est alors égale à celle au point médian du diviseur R_{11}, R_{12}. Lors de cet état d'équilibre, la tension de sortie des amplificateurs opérationnels (borne 6) est également à peu près égale à la moitié de la tension d'alimentation, ou encore, égale à celle qu'on mesure au point central du diviseur R_{14}, R_{15}.

Même si cette égalité n'est obtenue qu'à une fraction de volt près, le seuil des diodes D_5 à D_8 s'oppose à tout courant de base dans T_1 ou T_2 et les étages suivants (T_3, T_4) restent bloqués de ce fait. En cas de déséquilibre sur seulement l'une des sorties d'amplificateur opérationnel, l'une des diodes D_5 à D_8 doit nécessairement conduire. Si c'est D_6 ou D_7, T_1 conduit et rend T_4 conducteur par l'intermédiaire de T_3. Si, par contre, il s'agit de D_5 ou de D_8, c'est T_2 qui entraîne la conduction de T_4. En d'autres termes, le fonctionnement du dispositif est basé sur une logique ternaire qui connaît (aux sorties des amplificateurs opérationnels) les états « trop faible », « juste » et « trop fort ». Le circuit décrit agit donc comme une porte de conversion logique, dont la sortie ne connaît que deux états (ouverture autorisée ou non) et qui ne donne son autorisation que si elle reçoit l'information « juste partout ».

Etages de puissance

Le transistor T_4 de la figure 1 dérive vers le moins de l'alimentation l'intensité passant dans R_{18}, tant que l'autorisation d'ouverture n'est pas donnée. Si on le fait suivre, comme le montre la figure 2, par un transistor T_5, ce dernier ne deviendra conducteur que lors de cette autorisation. Comme le montage a été conçu de façon à pouvoir travailler sur une large plage de tensions d'alimentation (6 à 25 V), il suffit donc de prendre cette tension égale à celle prévue pour le dispositif électro-mécanique d'ouverture dont on dispose. Dans le cas du montage de la figure 2, l'intensité nominale de ce dispositif ne doit pas dépasser 300 mA. Si la tension nominale est

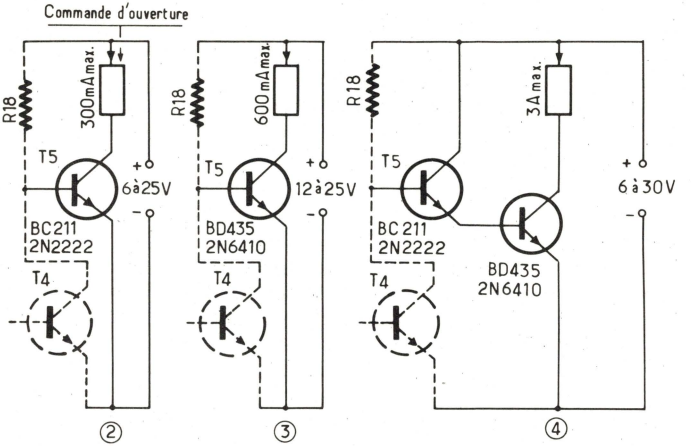


Fig. 2 à 4 – Suivant les caractéristiques du dispositif électro-mécanique d'ouverture de porte, divers types d'étages de sortie peuvent être envisagés.

comprise entre 12 et 25 V, le circuit de commande de la figure 3 pourra fournir une intensité atteignant 600 mA. Si une intensité de sortie plus forte est exigée par ce dispositif d'ouverture prévu, on devra faire appel au montage de la figure 4, et prévoir des piles d'alimentation capables de fournir du moins instantanément, l'intensité correspondante.

Il est à noter que la « clé de contact » doit couper seulement l'alimentation du montage de la figure 1, car celle de l'étage de puissance peut être maintenue en permanence, puisque cet étage ne demande une intensité que lors de l'ouverture de la serrure.

La figure 5 montre un plan d'implantation pour le montage de la figure 1, ainsi que l'utilisation d'un support pour tubes « miniature », pour la connexion des résistances « clé ».

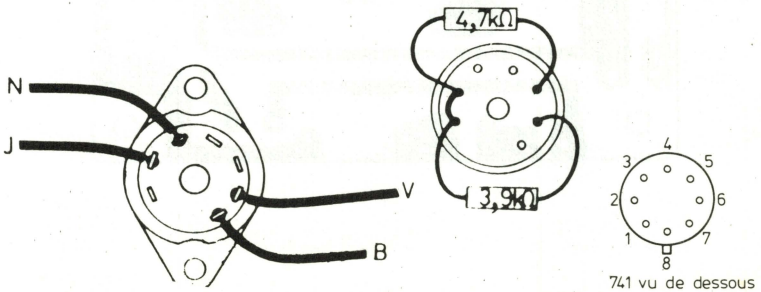
Choix et équilibrage des résistances-clés

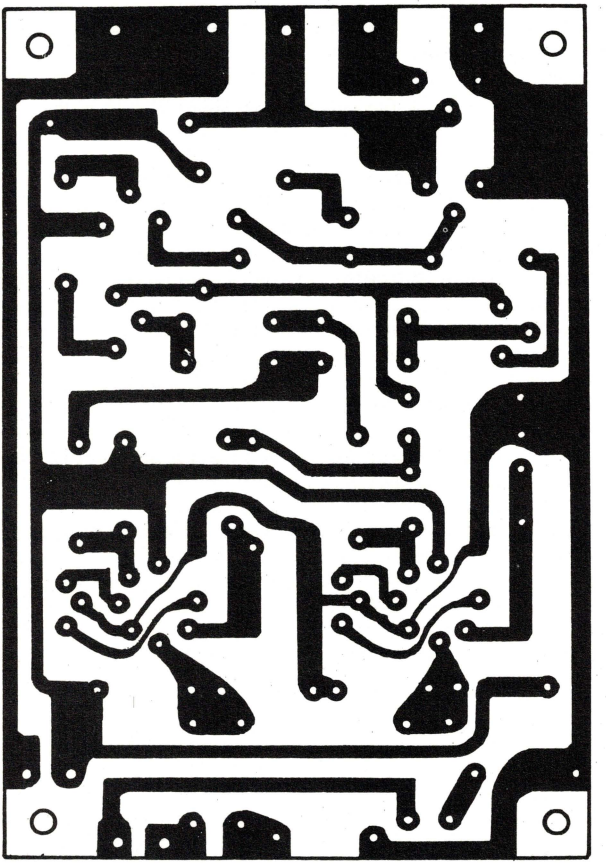
Comme la serrure est conçue pour refuser l'autorisation d'ouverture quand la valeur de la résistance « clé » s'écarte de plus de 1% de sa valeur nominale, il est indispensable d'utiliser, pour les résistances R_{S1}, R_{S2}, R_1, R_2, R_3, R_4, R_{11}, R_{12}, des composants de pré-

cision, à couche de carbone, ou de préférence, à couche métallique. Dans le commerce, on risque de ne trouver, en la matière, qu'un choix limité de valeurs disponibles. Il est, toutefois, facile de réaliser des valeurs supplémentaires par mise en parallèle ou en série de plusieurs résistances. Pour des raisons de parfaite exactitude, une telle mise en série est d'ailleurs à conseiller dans le cas de R_2 et de R_4, car l'égalité $R_2 = R_{S1} + R_1$ sera obtenue de la façon la plus sûre, si on utilise, pour R_2, la mise en série de deux résistances identiques à R_{S1} et à R_1.

Néanmoins, de très faibles écarts peuvent être compensés par les potentiomètres d'« offset » P_1 et P_2. On les ajuste après avoir mis en place la « clé » et après avoir connecté un voltmètre entre la sortie (6) de l'un des amplificateurs opérationnels et le point médian du diviseur R_{14} R_{15}. La position correcte du potentiomètre d'offset est celle pour laquelle le voltmètre indique une tension nulle. On procède ainsi, successivement, sur les deux amplificateurs opérationnels, en ajustant, chaque fois, le potentiomètre d'offset correspondant.

Puis, en faisant fonctionner la serrure, on constatera qu'elle ne s'ouvre que deux secondes environ après l'introduction de la clé. Ce retard est dû à C_1, et il sert à obliger quiconque tentant d'ouvrir la serrure en essayant, l'une après l'autre, plusieurs combinaisons de résistances, d'attendre chaque fois deux secondes avant de connecter la suivante. Cette disposition peut paraître inutile, tant qu'on pense à une action manuelle, consistant à enfiler l'une après l'autre, toutes sortes de résistances. Mais avec un micro-processeur, complété de quelques accessoires, on pourrait très bien réaliser un engin qui, automatiquement, et très rapidement, présente à la serrure toutes les combinaisons de résistances qui sont possibles. Et si on ne prévoit pas le retard mentionné, la bonne combinaison peut être déterminée très rapidement de cette façon.





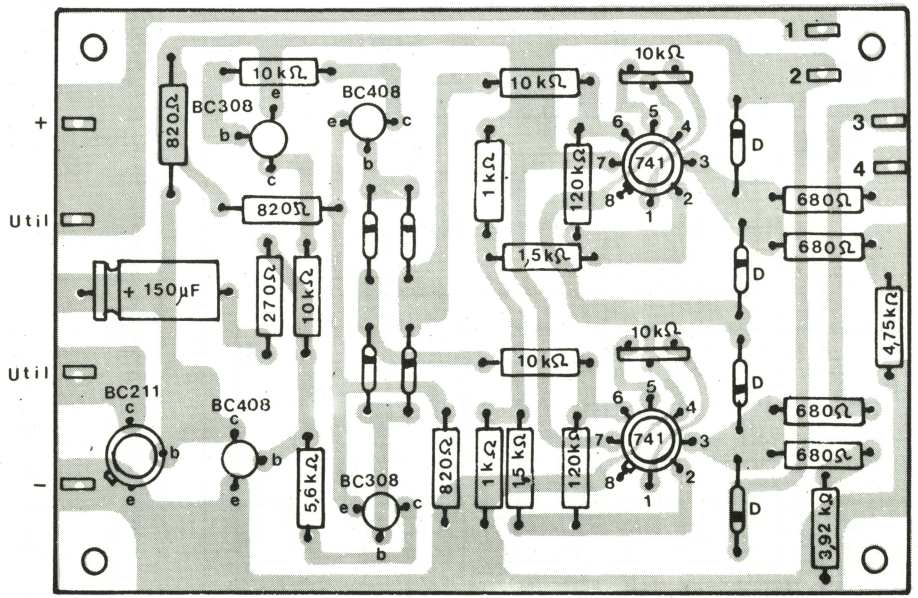


Fig. 5 – Plans de connexions et d'implantation (Dimensions 115 x 78 mm) pour la serrure électronique de la figure 3. Les résistances « clé » peuvent être montées sur un bouchon s'adaptant à un support de tube, comme cela est indiqué page 67.

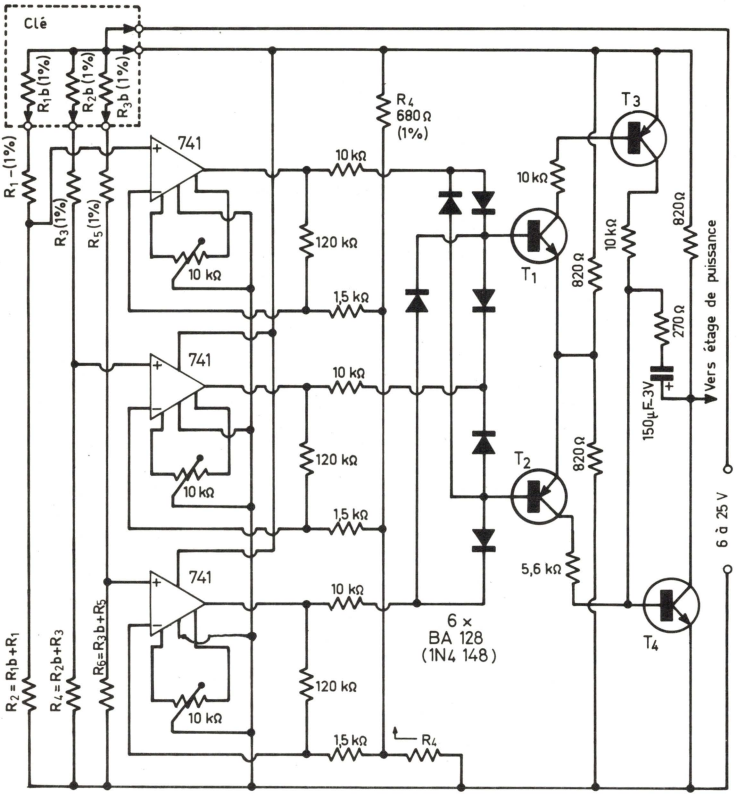


Fig. 6 – En utilisant trois résistances de précision dans la clé, on arrive à 15 millions de combinaisons possibles. Comme précédemment, R_2, R_4 et R_6 peuvent être choisis librement entre 680 Ω et 560 kΩ (1 %).

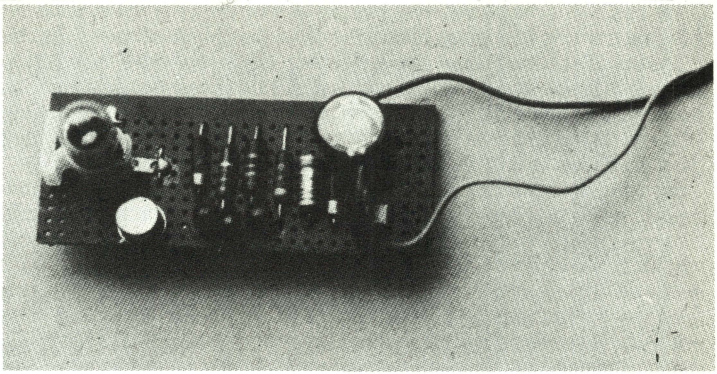
Combinaison de trois résistances

Cette histoire de micro-processeur peut donner à refléchir. Car elle montre qu'il est effectivement possible d'explorer, en 30 heures, les 60 000 possibilités de combinaison qui avaient été mentionnées

au début de cet article. Et ce en connectant simplement un appareil, qu'on peut laisser faire le travail tout seul, en vaquant à ses autres besognes.

De ce fait, le schéma de la figure 6 risque de ne pas être sans intérêt, car il fait appel à trois résistances « clé », comparées aux résistances de précision internes par trois amplificateurs opérationnels. Pour le reste, le montage est identique au précédent, sauf qu'il faut maintenant six diodes pour la porte de conversion logique dont il était question plus haut.

Mais quel que soit celui des deux montages que vous réaliserez, utilisez, pour la clé, un connecteur comportant au moins 6 broches. Ainsi, votre visiteur mal intentionné croira que votre serrure a été conçue pour un grand nombre de résistances « clé », et cela le découragera.



9 – L'ombre qui fait de la lumière

L'homme et son ombre étant deux choses inséparables, on peut déceler le passage de personnes au moyen d'un procédé opto-électrique, ou encore commander l'allumage d'une ampoule par le simple passage de la main devant un élément photosensible. L'effet devient particulièrement spectaculaire si on prévoit une amplification permettant un fonctionnement sûr déjà avec une quantité de lumière très faible.

Principe

Des indicateurs de passage de personnes, à base d'opto-électronique, sont notamment utilisés pour la commande automatique d'escaliers roulants. Le plus souvent, ces dispositifs ne fonctionnent correctement que si l'éclairage ambiant est relativement constant et si, de plus, la source lumineuse de commande, disposée de l'autre côté du passage à surveiller, travaille à intensité fixe.

De ces barrières photo-électriques, le montage décrit se distingue à la fois par une très grande sensibilité, et une plage d'intensités très étendue. C'est ainsi que cet indicateur peut répondre aux reflets d'une lampe de chevet sur un plafond, sur un reverbère éclairant faiblement une pièce de la rue, et probablement même au clair de lune. Mais, sans retouche de réglage, il fonctionne tout aussi bien à moins de 1 m d'une lampe de 75 W, munie d'un réflecteur.

En fait, l'indicateur ne répond que sur des diminutions de luminosité, telles qu'elles sont provoquées, par exemple, par le passage d'une personne entre la photorésistance et un mur clair, ce mur pouvait être faiblement éclairé la nuit et assez violemment le jour. Dans le cas de la maquette qui n'est qu'un modèle de démonstration, cette réponse se fait par le bref allumage d'une petite ampoule. Bien entendu, le système peut tout aussi bien servir à déclencher un relais, une minuterie, un éclairage permanent, voire une sonnerie, une sirène, etc.

Circuit électronique

Le schéma de la figure 1 montre que la photorésistance (Ph) de l'indicateur forme un diviseur de tension avec les résistances R_1 et R_2. Quand l'éclairage de Ph varie, il y a donc également variation de la tension que C_1 transmet sur la base de T_1. Ensuite, ladite variation est amplifiée encore par trois autres étages, travaillant en liaison directe, et dont le dernier commande une ampoule de 4,5 V,

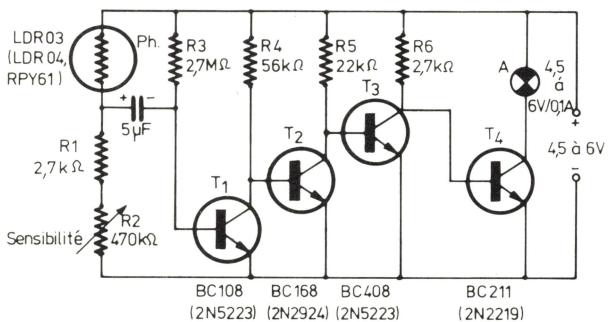


Fig. 1 – Grâce à un amplificateur à grand gain, l'indicateur répond même à de faibles variations d'éclairement.

100 mA. Le montage ayant été calculé assez largement, on peut utiliser, pour T_2 et T_3, des transistors dont le gain en courant est nettement inférieur à celui des types mentionnés dans le schéma. Au repos, T_1 se trouve saturé du fait du courant de base dans R_3. Une augmentation de l'éclairement ne fait qu'augmenter ce courant de base, c'est-à-dire que T_1 reste saturé, et que l'ampoule ne répond pas. En revanche, T_1 peut être bloqué, quand la résistance **de** Ph augmente (obscurcissement). Toutefois, ce bloquage (qui commande l'allumage de l'ampoule) ne dure que le temps qu'il faut à C_1 pour rééquilibrer sa charge. Au maximum, cette durée peut atteindre quelques secondes. Elle ne sera que d'une fraction de seconde, si la variation relative de résistance de Ph (par rapport à la valeur de $R_1 + R_2$) a été faible. La durée d'allumage sera ainsi d'autant plus réduite que l'éclairage ambiant est plus fort.

Comme la liaison entre la photorésistance et l'amplificateur se fait par un condensateur, le montage ne peut répondre qu'à des variations relativement rapides d'éclairement. Il est donc insensible aux variations qu'on observe au crépuscule, et pour qu'il soit déclenché par un nuage passant devant le soleil, il faudrait que ce nuage soit bien rapide. Toutefois, il est facile d'augmenter la sensibilité de l'appareil aux phénomènes lents, en augmentant C_1, et inversement. Comme la durée d'allumage de l'ampoule dépend également de la valeur de C_1, cette durée risque de devenir trop brève, si on choisit C_1 de façon que l'appareil ne réponde qu'à des variations très rapides.

Expérimentation

La résistance ajustable R_2 permet de choisir la plage de sensibilité qu'on désire. Avec $R_2 = 0$, l'appareil fonctionnera bien à l'extérieur, par une journée ensoleillée, mais il ne saura plus répondre à une ampoule d'éclairage se trouvant à une dizaine de mètres. La valeur maximale de R_2 est à conseiller, si on veut faire une expérience au clair de lune, mais l'appareil risque alors de rester saturé par un éclairage violent et si l'éclairement ne se trouve que faiblement réduit par l'ombre qu'on projette.

Sur la platine imprimée (fig. 2) du modèle de démonstration, photorésistance et ampoule d'indication se trouvent à une distance de quelques centimètres seulement. Quand l'éclairement est faible, et quand on le réduit encore, une intéraction peut se produire du fait

de cette proximité. Quand l'ampoule s'éteint après avoir signalé une première réduction d'éclairement, la photorésistance perçoit une seconde diminution d'éclairement et rallume l'ampoule pendant un certain temps. Et quand elle s'éteint de nouveau, le jeu recommence, avec ralentissement de la cadence, donnant l'impression d'un clignotant qui se meurt tout doucement. Bien sûr, ce phénomène n'a guère de caractère utilitaire, sauf peut-être pour ce qui est des effets intrigants et amusants du montage décrit.

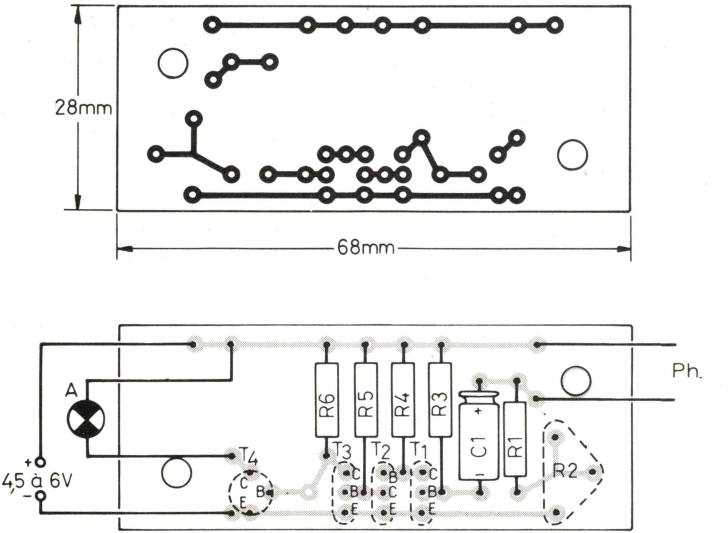
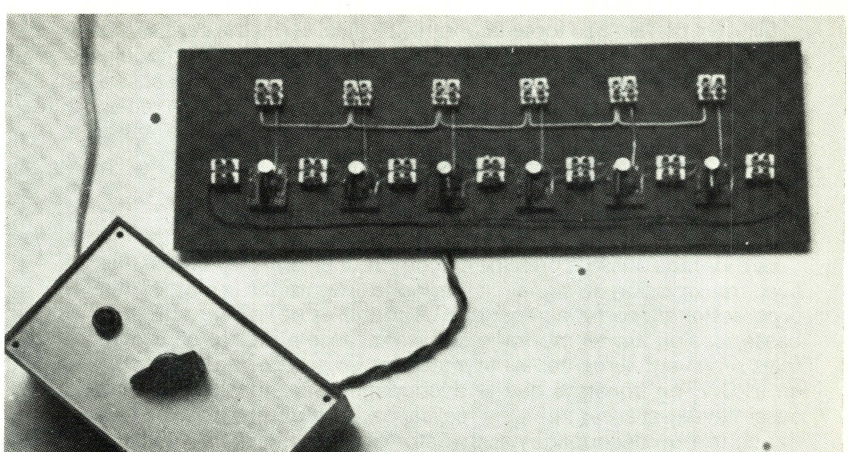


Fig. 2 – Plan d'implantation de l'indicateur. La distance réduite entre ampoule et photorésistance permet la mise en évidence de phénomènes d'interaction.



10. – Le chenillard économique

Un chenillard, c'est un dispositif de commande pour une dizaine d'ampoules environ, et qui fait allumer ces ampoules l'une après l'autre, de façon qu'une seule soit allumée à un instant donné. De ces chenillards, il existe des versions bien classiques, basées sur un comptage par circuits intégrés. On peut en imaginer d'autres pouvant soit offrir des possibilités supplémentaires, soit se distinguer par une plus grande simplicité du circuit.

Il en est ainsi du montage décrit ci-dessous, lequel ne nécessite ni transformateur d'alimentation, ni régulateur de tension, ni circuit intégré. Il se contente d'une petite unité de commande et ne demande, pour la commande de chaque ampoule, essentiellement qu'un thyristor et une diode. Le nombre de ces ampoules pouvant être compris entre 3 et 15, on peut commencer avec un circuit à trois allumages, et l'élargir, par la suite, au nombre désiré. Accessoirement, le montage a été conçu de façon à ne pas émettre de perturbations radio-électriques.

Or, il est certain que toute économie se paie, et dans le cas présent cela se traduit d'abord par le fait qu'on ne peut utiliser des ampoules d'une puissance supérieure à 100 W. Ensuite, le montage nécessite une petite mise au point. Finalement, s'il est alimenté par un réseau de distribution très perturbé, son fonctionnement peut, de temps en temps, présenter de petites irrégularités.

Principe de fonctionnement

Le montage utilise le principe du compteur en anneau, à thyristors, avec transmission du signal dit d'horloge (impulsions provoquant la progression du compteur) par brèves coupures de l'alimentation. En basse tension, un tel montage est assez facile à mettre en œuvre, mais si on veut alimenter les thyristors et les ampoules directement en 220 V, on constate que le découpage d'une tension continue aussi élevée est assez difficile à réaliser par un montage à transistors. Par contre, un découpage par thyristor est possible, mais il ne fonctionne que si on travaille sur une tension redressée non filtrée. L'absence de filtrage implique, cependant, une certaine sensibilité aux perturbations véhiculées par la prise de courant.

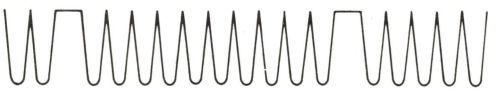


Fig. 1 – La commande d'avance d'allumage se fait par des interruptions de la tension redressée d'alimentation.

Pour réaliser le découpage d'alimentation on opère d'abord un redressementt diphasé, produisant un train d'alternances juxtaposées. La figure 1 montre qu'on découpe ensuite, dans ce train d'alternances, de temps en temps une demi-sinusoïde, et ce découpage constitue, comme on le verra plus loin, le signal d'avancement du compteur. Pour que celui-ci fonctionne correctement, il faut encore s'arranger pour que le thyristor de l'anneau qui conduit à un moment donné, se désamorce seulement pendant la coupure longue, et non pas aux instants où, entre deux alternances consécutives, la tension d'alimentation tombe également à zéro. Pour cela, on modifie, par un filtrage convenablement dosé, l'allure du train d'ondes comme cela est indiqué par le dessin en pointillés de la

figure 2. On arrive alors à doser l'intensité résiduelle (au moment du passage par zéro) de façon qu'elle corresponde à l'intensité de maintien d'un thyristor (et d'un seul thyristor). De cette façon, on est sûr que le fonctionnement se trouve bien limité à un seul thyristor à la fois.

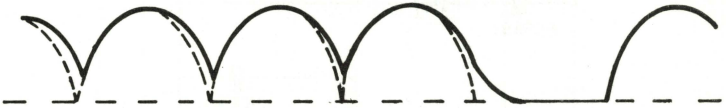
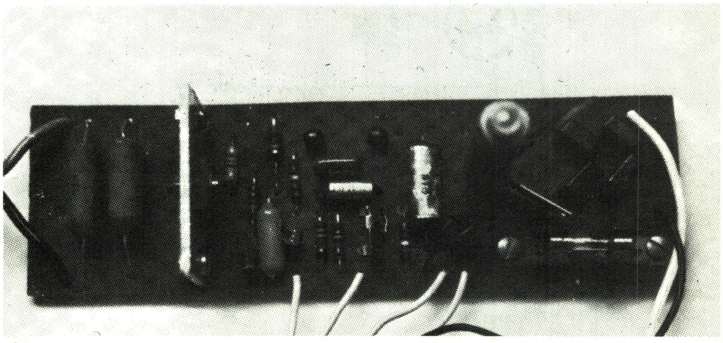


Fig. 2 – L'intensité de maintien du thyristor commandé est assurée, en dehors des coupures complètes, par un filtrage partiel.

Unité de commande

Le schéma de la figure 3 montre, à gauche, le redresseur d'alimentation qui se trouve connecté directement sur la prise de courant. Pour obtenir la basse tension (12 V environ) nécessaire pour l'alimentation des transistors, on se sert d'un diviseur de tension, composé d'une part de l'ampoule témoin (A_1) et de R_1, et d'autre part de R_8, augmentée, suivant l'état de commutation, soit de la résistance de saturation de T_3 ou de T_4, soit de la résistance de gâchette de Th_1. Comme ces résistances sont faibles devant R_8, la tension auxiliaire d'alimentation reste suffisamment stable.

Les impulsions de progression sont produites par le multivibrateur T_1, T_2, conçu de façon fortement asymétrique ($C_3 >> C_2$). La durée



Le circuit de l'unité de commande.

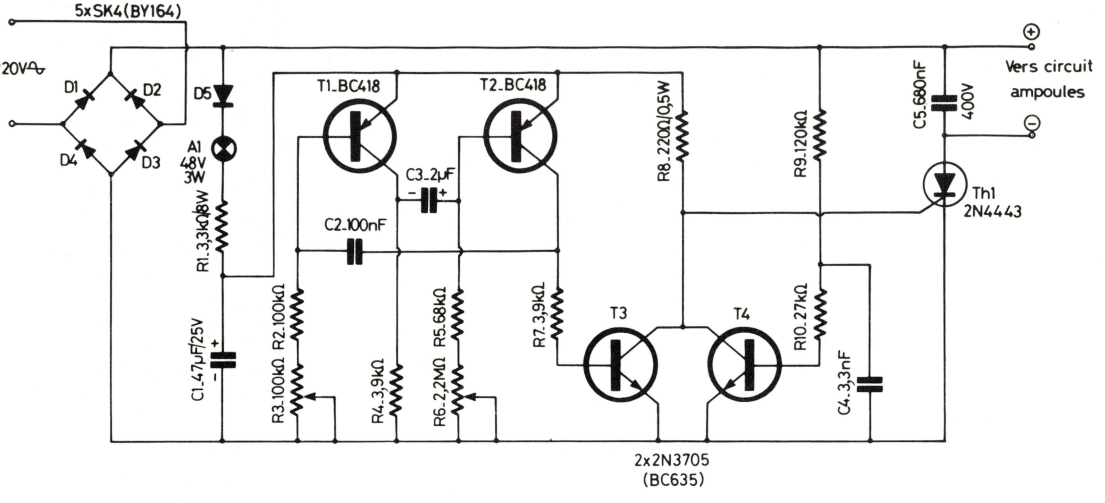


Fig. 3 – Unité de commande produisant les trains d'alternances illustrés par les figures 1 et 2.

de blocage de T_2 peut être ajustée par le potentiomètre de vitesse de défilement (R_6) entre 0,3 et 10 secondes environ. La durée de conduction, en revanche, est beaucoup plus courte, et grâce à R_3 on peut la rendre assez exactement égale à celle d'une alternance du 50 Hz, soit 10 ms.

Le multivibrateur attaque T_3 qui dérive, lors des impulsions courtes, le courant circulant dans R_8, si bien que Th_1 reste bloqué pendant ces instants. Par ailleurs, il reste également bloqué quand T_4 conduit, et comme la base de T_4 se trouve commandée, via R_9, R_{10} par la tension redressée non pas filtrée, mais légèrement retardée par C_4, le thyristor ne peut finalement s'amorçer que peu après le passage par zéro de la tension d'alimentation, et ce seulement en dehors des instants de conduction de T_3

Par ailleurs, on s'arrange, en utilisant un condensateur de filtrage (C_1) de faible valeur, pour que le multivibrateur (T_1, T_2) se trouve synchronisé par les ondulations de l'alimentation. De ce fait, la durée de blocage de Th_1 ne peut être supérieure à la durée d'une alternance du 50 Hz. Or, une durée inférieure n'est pas possible non plus, puisque T_4 ne permet l'amorçage du thyristor qu'au début d'une alternance. Accessoirement, ce mode de fonctionnement correspond à une production minimale de perturbations radio-électriques.

Le compteur en anneau

Le compteur en anneau dont le schéma est reproduit dans la figure 4 ne prendra pas forcément, dès sa mise sous tension, un état bien défini. Mais la valeur de C_5 (fig. 3) est telle que l'intensité résiduelle, au moment des passages par zéro, soit tout juste égale à l'intensité de maintien de celui des thyristors utilisés qui, précisément, demande l'intensité de maintien la plus forte. Aucun autre thyristor, en dehors de celui-là, ne pourra donc se trouver amorçé et ce au plus tard quand le compteur aura progressé jusqu'à la position correspondante.

On pourra donc admettre que ce soit, par exemple, Th_b (fig. 4) qui soit seul conducteur à un instant donné. Comme sa tension cathode-anode sera alors faible pendant un temps assez long, C_b aura pu se décharger dans R_{b1}. Or, dans l'étage précédent (a), C_a se trouve chargé (à la tension de crête du réseau, soit 310 V), car la résistance de l'ampoule est très faible devant R_{a1}. Lors de la première des coupures périodiques de l'alimentation, Th_b va d'abord se bloquer. Mais la durée de cette coupure sera suffisamment courte pour que C_a n'ait guère le temps de se décharger, et il en est de

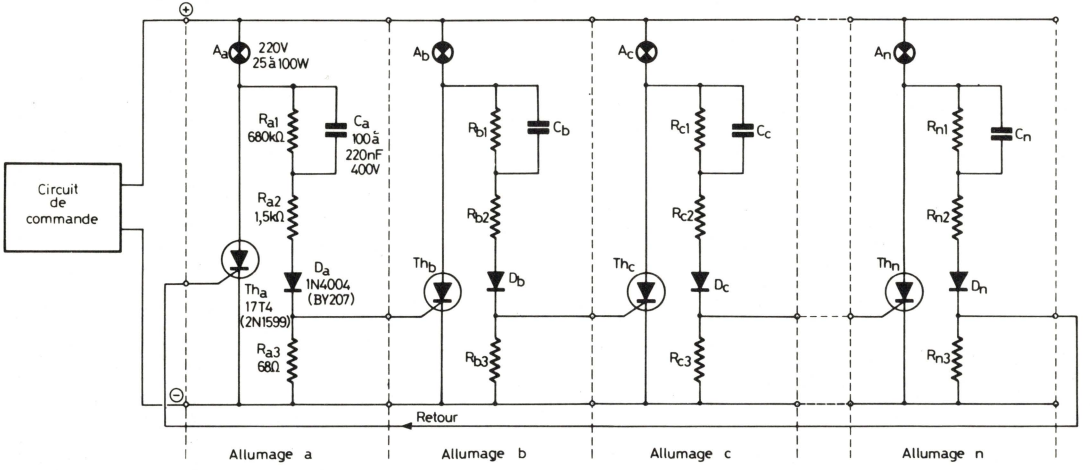


Fig. 4 – Cet anneau de thyristors ne demande que trois conducteurs de liaison et un de retour.

même pour C_c ... C_n, c'est-à-dire pour tous les étages précédemment éteints. Seul C_b reste déchargé, et, lors de la première alternance après la coupure, il va demander une intensité importante de charge. Par R_{b2}, on limite cette intensité à une valeur non destructive pour Th_c, mais elle reste néanmoins suffisante pour provoquer l'amorçage de ce thyristor. Ce dernier reste donc conducteur jusqu'à la coupure suivante de l'alimentation et c'est alors l'allumage c qui entre en service.

Réalisation et mise au point

La figure 5 montre la platine de l'unité de commande qui a été conçue pour être logée dans un boîtier « Teko », modèle P/3. Sur cette platine, on a laissé une place assez large pour R_1, à cause de la dissipation de cette résistance, laquelle a été montée perpendiculairement par rapport à la platine, à l'aide d'une tige filetée. On dispose également d'une assez large place pour C_5, car, lors de la mise au point, il pourra arriver qu'on doive modifier la valeur de C_5, par une mise en parallèle de plusieurs valeurs.

Après avoir réalisé le circuit de la figure 5, on connecte une ampoule de 220 V sur sa sortie, et on pourra alors observer les très brèves interruptions d'alimentation que produit le multivibrateur et dont la cadence est ajustable par R_6. Pour ajuster R_3 de façon que ces interruptions aient la durée voulue, il suffit maintenant (tout en laissant l'ampoule en place) de connecter un voltmètre (gamme 100 ou 300 V continus) entre cathode et anode de Th_1. Lors de chaque interruption d'alimentation, ce voltmètre va dévier brièvement et d'autant plus fortement que la durée de la coupure est plus longue. Comme cette durée ne peut être égale à celle d'une ou à celle de deux alternances, la différence est assez nettement visible. On ajuste donc R_3 de façon que le voltmètre dévie d'une façon régulièrement cadencée, toujours avec une amplitude identique, et aussi faible que possible. Si on dispose d'un oscilloscope, on peut l'utiliser pour reproduire le train d'alternances de la figure 1.

Quant aux circuits d'allumage de la figure 6, on peut en monter plusieurs sur une même platine, ou réaliser des circuits individuels pour chaque ampoule, comme dans le cas de la maquette. Cette dernière disposition permet assez facilement la réalisation de guirlandes, puisqu'il suffit de trois fils de liaison entre chaque élément.

Pour le condensateur se trouvant sur chaque plaquette d'allumage, on prendra, pour commencer, une valeur moyenne, soit 150 nF. Après réalisation des circuits, on en connecte d'abord deux

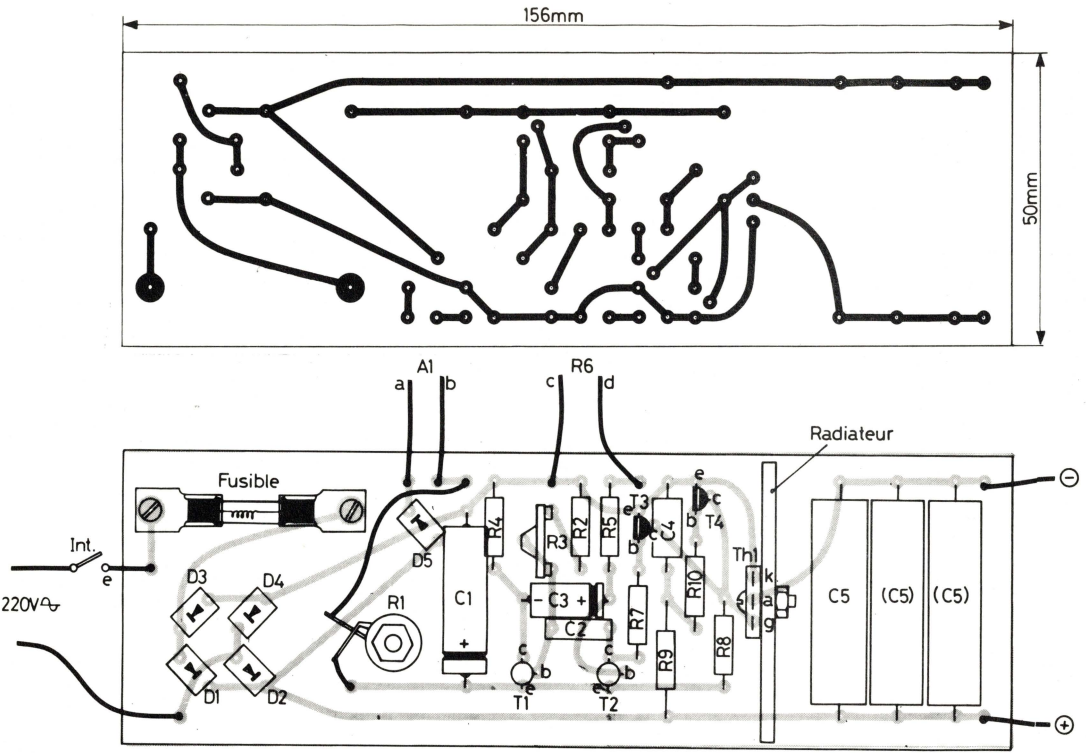


Fig. 5 – Plans de connexions et d'implantation de l'unité de commande.

sur l'unité de commande, avec retour du second sur le premier. On observera alors un simple clignotement alterné. Ensuite, on augmente l'anneau d'une nouvelle unité, on vérifie de nouveau, et ainsi de suite. Jusqu'à 4 ou 5 unités, il n'y aura généralement pas de problème. Mais lorsqu'on arrive à un nombre plus grand, une mise au point peut devenir nécessaire. Si l'anneau maintient toujours deux allumages qui, cependant, se déplacent, il convient de réduire C_5 (fig. 3). Une augmentation de cette capacité peut être nécessaire, quand une ampoule, au lieu de s'allumer franchement, ne produit qu'un éclair bref et atténué. Un refus total d'allumage provient généralement d'une valeur trop faible du condensateur de la plaquette d'allumage (C_a), alors que cette capacité est à diminuer en cas d'allumage intempestif. En suivant ces indications, on arrivera assez rapidement au fonctionnement correct du montage, et il sera très rare qu'on tombe sur un thyristor dont la dispersion de caractéristiques soit telle qu'il faille l'écarter.

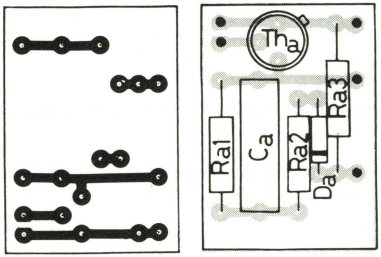


Fig. 6 – Platine imprimée des circuits de commande d'allumage. Dimensions : 23 x 33 mm.

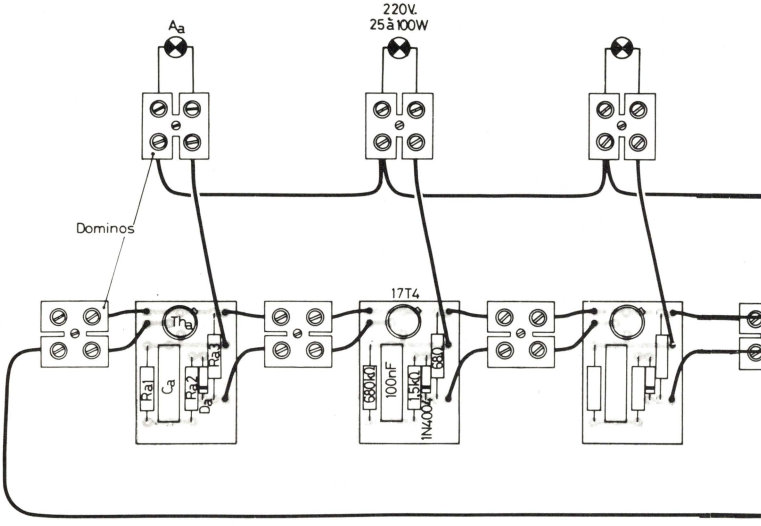
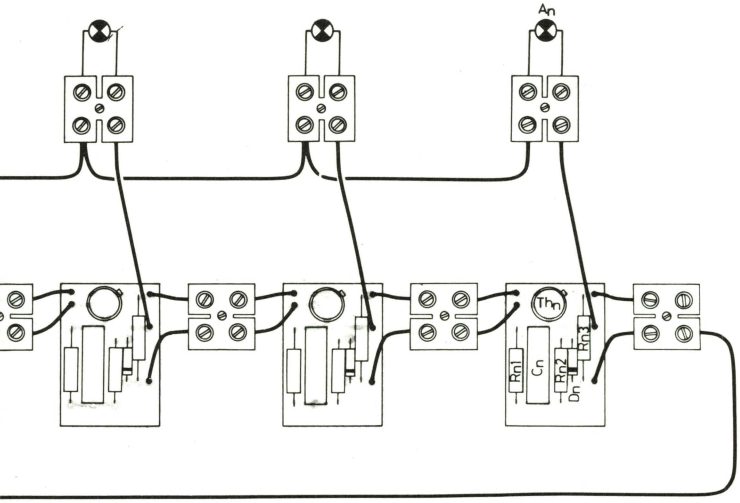
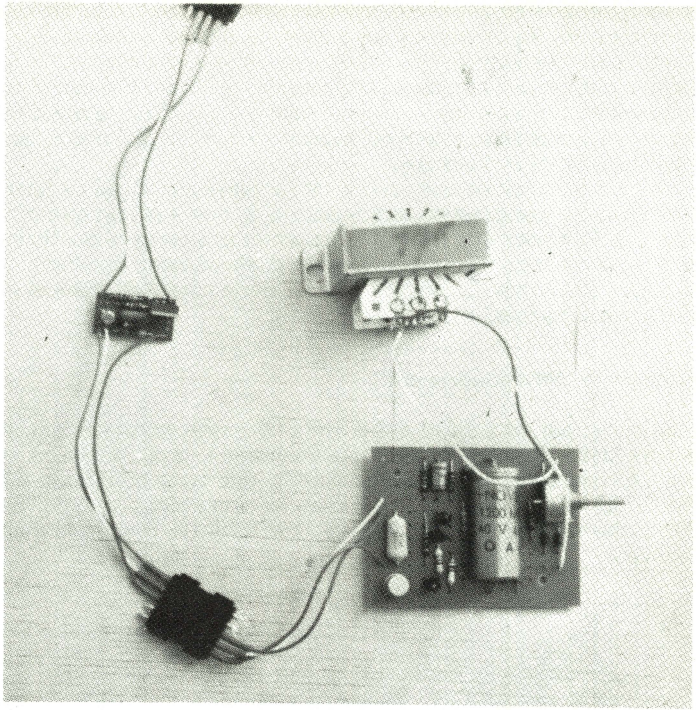


Fig. 7 – Plan d'interconnexion des circuits d'allumage. L'unité de commande est à connecter aux points portant la mention « Dominos ».


An
Thn
Rn1
Cn
Rn2
Dn
Rn3



11. – Le chenillard qui peut grandir

Comme celui du chapitre précédent, le chenillard décrit ci-dessous est extensible, c'est-à-dire qu'on peut commencer avec trois ou quatre ampoules seulement, et en ajouter, par la suite, tout nombre désiré, plusieurs dizaines, si on veut. Mais cette fois-ci, on peut commander des ampoules plus puissantes.

L'avantage économique du montage décrit ci-dessous, réside dans l'utilisation d'un anneau à thyristors qui, contrairement au compteur intégré, ne demande pas d'alimentation régulée. De plus,

la configuration en anneau permet de subdiviser le circuit de distribution (vers les ampoules) en autant de petites unités qu'il y a d'ampoules, chacune de ces unités pouvant être installée au voisinage immédiat de l'ampoule correspondante. Pour la liaison entre deux unités consécutives, 4 fils suffisent (en plus d'un retour de la dernière à la première), si bien qu'on peut réaliser des guirlandes faciles à installer et à prolonger.

De plus, le circuit de commande de l'appareil est conçu de façon à éviter toute perturbation radio-électrique, due à la commutation de triacs. Et finalement, le montage permet une certaine possibilité de programmation, consistant dans le cheminement simultané de plusieurs allumages, ou encore dans le déclenchement manuel de défilements fugitifs.

Principe de fonctionnement

Le compteur en anneau à thyristors nécessite, normalement, en dehors des deux conducteurs d'alimentation, une connexion de transfert entre deux étages consécutifs, une ligne commune dite d'horloge, sur laquelle on transmet les impulsions qui doivent déclencher les transferts, et aussi une ligne de retour, fermant l'anneau.

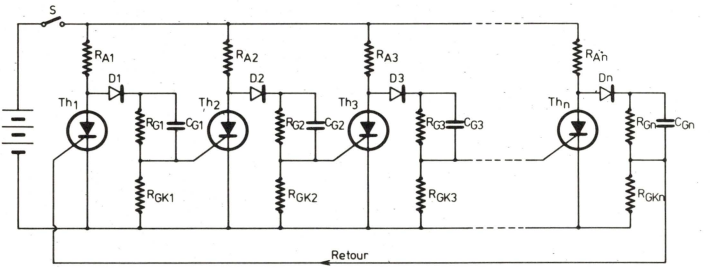
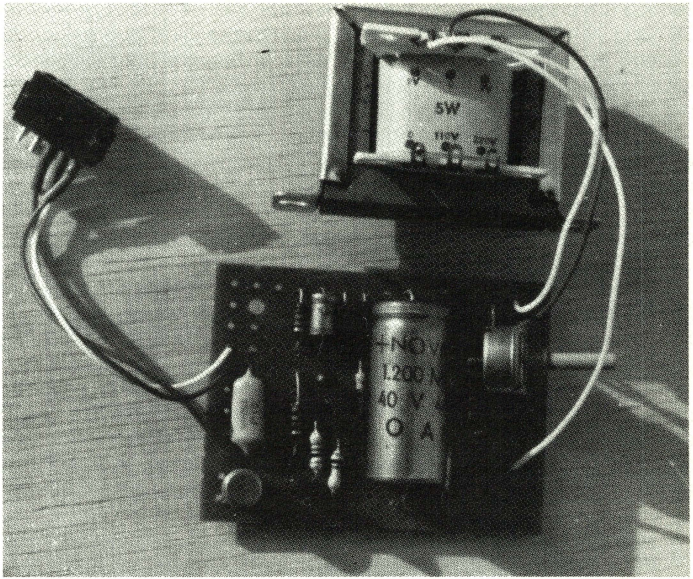


Fig. 1 – Dans cet anneau de comptage à thyristors, l'habituel signal « horloge » a été remplacé par des interruptions cadencées de l'alimentation.

Or, dans le schéma de principe de la figure 1, aucune ligne d'horloge n'apparaît, et les quatre étages représentés sont nettement plus simples que ceux d'un compteur en anneau de type courant. Cette simplification a été possible du fait que l'information « horloge » se trouve transmise par la ligne d'alimentation, et ce au moyen de



l'interrupteur S (fig. 1, à gauche) qu'on ouvre, périodiquement (et électroniquement) pendant un temps très bref, chaque fois qu'on désire que l'allumage progresse d'un échelon.

Pour comprendre l'action d'une telle « horloge à interruptions », on pourra admettre que, au départ, le thyristor T_{h1} de la figure 1 est conducteur (tension pratiquement nulle entre A et K), et ce depuis un temps suffisant pour qu'une éventuelle charge de C_{G1} ait eu le temps de s'écouler dans R_{G1}. Or, les autres thyristors de l'anneau étant bloqués, on observe une chute pratiquement nulle sur R_{A2}, R_{A3} ... R_{An}, les diodes D_2, D_3 ... D_n conduisent et maintiennent les condensateurs C_{G2}, C_{G3} ... C_{Gn} en charge. La différence essentielle dans les états de fonctionnement réside ainsi dans le fait que C_{G1} se trouve déchargé, alors que les autres C_G sont tous chargés.

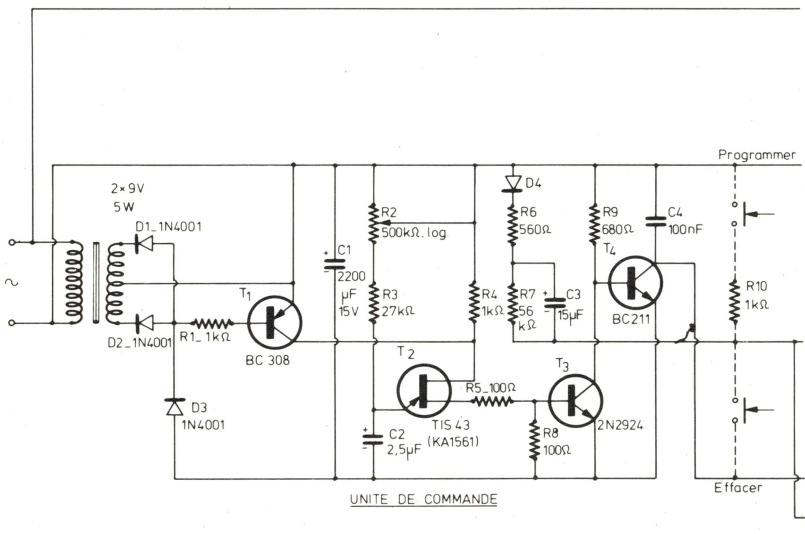
Pour faire progresser l'état de conduction, on coupe maintenant l'alimentation pendant une milliseconde environ. Le seul thyristor qui était conducteur à ce moment, Th_1, se bloquera aussitôt, du fait de cette absence d'alimentation. Mais on referme S si vite, que C_{G2}, C_{G3} ... C_{Gn} conservent pratiquement leur charge. Lors de cette

remise sous tension, il n'y aura donc que très peu de courant dans D_2, D_3, ... D_n et par conséquent, la chute de tension que ce courant provoque dans R_{GK2}, R_{GK3} ... R_{GKn} est insuffisante pour déclencher les thyristors de l'échelon suivant, soit Th_3 ... Th_n, Th_1. Le thyristor précédemment conducteur (Th_1) reste donc bloqué.

Mais C_{G1} était déchargé au début de l'interruption d'alimentation, et puisqu'ensuite Th_1 ne conduit plus, ce condensateur va demander une importante intensité de charge au circuit composé de R_{A1}, D_1 et R_{GK1}, et la tension aux bornes de cette dernière résistance atteindra, de ce fait, une valeur largement suffisante pour provoquer le déclenchement de Th_2.

La période de repos qui débute maintenant, durera suffisamment longtemps pour que C_{G2} ait le temps de se décharger dans R_{G2}, si bien que, lors de la prochaine interruption d'alimentation, l'allumage puisse progresser vers Th_3.

En fait, rien ne « s'allume » encore dans le circuit de la figure 1, mais cela pourrait être le cas, si on remplace les résistances de charge R_A par des ampoules. Il est d'ailleurs parfaitement possible d'utiliser le montage de cette façon, si on se contente d'une puissance d'éclairement relativement réduite, c'est-à-dire en utilisant,



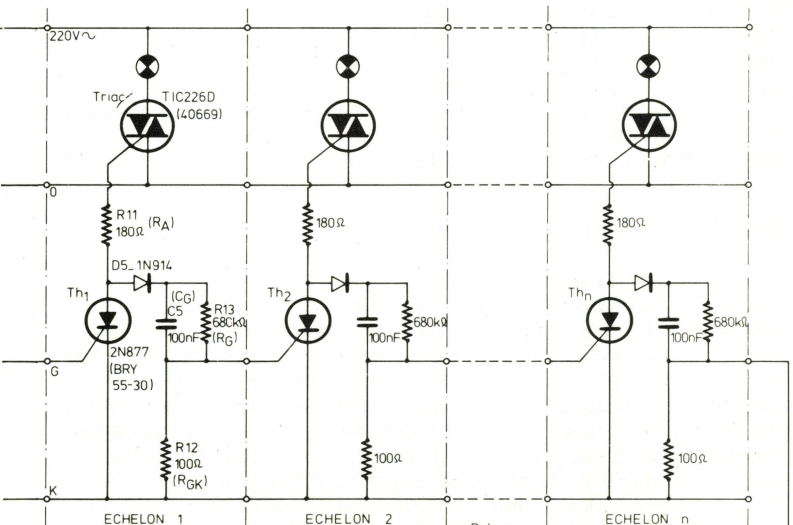
par exemple, des ampoules de 48 V, 1 A. Mais déjà pour ces valeurs de tension et d'intensité, la réalisation de l'interrupteur électronique d'alimentation devient assez onéreuse, ne serait-ce qu'à cause de la taille et du prix du transformateur d'alimentation. Il est ainsi préférable de travailler directement sur le réseau d'alimentation, en intercalant des triacs entre les thyristors et les ampoules correspondantes.

Schéma détaillé

Le dessin de la figure 2 montre, à gauche, l'unité de commande (équivalente à l'interrupteur S de la figure 1), et séparés par des traits-points, trois échelons d'allumage, tous identiques.

Dans l'unité de commande, les impulsions d'interruption sont produites par un transistor unijonction, T_2, et la cadence de ces impul-

Fig. 2 – L'unité de commande, à gauche, produit de brèves interruptions de l'alimentation des échelons à thyristor et triac, et elle commande ainsi la progression d'allumage à un nombre en principe quelconque d'ampoules.



sions est ajustable, par R_2, entre 0,2 et 5 secondes environ. La synchronisation est assurée par T_1 dont la base reçoit, du redresseur d'alimentation, une tension en demi-sinusoïdes juxtaposées, de façon que T_1 ne puisse se trouver bloqué qu'à la fin de chaque alternance, et ce, pendant une durée de l'ordre de la milliseconde. Pendant le reste du temps, T_1 constitue un court-circuit aux bornes de R_4, et T_2 ne peut se déclencher que si ce court-circuit se trouve levé, et si, simultanément, la charge aux bornes de C_2 a atteint une valeur suffisante.

En d'autres termes, ce déclenchement de T_2 ne peut avoir lieu qu'à un moment où la sinusoïde de 50 Hz du réseau passe par zéro. Comme l'anneau à thyristors commute au même moment, tout en commandant un triac, ce dernier se trouve bien déclenché pendant un passage par zéro du 50 Hz, c'est-à-dire dans des conditions excluant toute perturbation radio-électrique notable. L'utilisateur du montage s'assure ainsi d'une « triple tranquillité » ; celle de ses voisins, celle de sa conscience, et surtout celle du fonctionnement de son circuit. En effet, moyennant des connexions un peu longues, un montage non antiparasité pourrait parfaitement réagir sur lui-même et provoquer des séquences d'allumage assez cahotiques.

L'interruption d'alimentation est assurée par T_4, c'est-à-dire dans le négatif de l'alimentation, mais cette différence par rapport à la figure 1 ne se répercute nullement sur le fonctionnement. Entre deux commutations successives, T_4 se trouve saturé par l'intensité de base qu'il reçoit via R_9. Or, au moment de la commutation, cette intensité se trouve dérivée par T_3 qui devient alors conducteur du fait de l'impulsion provenant de T_2. Le condensateur C_4, connecté sur la ligne de sortie, limite l'effet d'éventuelles perturbations.

Possibilités de programmation

Lors de la mise sous tension, le condensateur de filtrage d'alimentation, C_1, se charge d'une façon suffisamment lente pour que, normalement, cette charge puisse se répercuter sur les condensateurs C_G des échelons connectés, d'une manière si progressive que la chute de tension sur aucune des résistances R_{GK} puisse atteindre une valeur susceptible de provoquer le déclenchement de l'un des thyristors. Pour qu'il y ait néanmoins une ampoule qui s'allume dès la mise sous tension, on a prévu le circuit composé de D_4, R_6, R_7, C_3. Sa constante de temps étant supérieure à celle du circuit de filtrage d'alimentation, il maintient, dans la gâchette du premier thyristor, l'intensité nécessaire au déclenchement pendant un temps

suffisant pour que ce thyristor puisse devenir conducteur. Ce dispositif d'allumage automatique fonctionne, cependant, avec une petite restriction.

Quand on coupe l'alimentation du transformateur pour la rétablir aussitôt, le condensateur de filtrage d'alimentation n'aura pas eu le temps de se décharger, C_3 non plus, et tout reste éteint. En cas de mauvais contact dans la prise de courant, ce même phénomène peut se produire.

On peut alors couper tout, attendre quelques secondes, puis remettre sous tension. Mais il est nettement plus simple de prévoir la touche « Programmer » de la figure 2 et qui permet, à tout instant, de commander, via R_{10} le déclenchement du premier thyristor.

Ce qui signifie, évidemment, qu'on peut aussi manœuvrer cette touche quand un premier allumage est déjà en train de cheminer sur l'anneau, et qu'on peut donc introduire un second, qui cheminera en même temps. Toutefois, la conception du circuit ne permet pas le cheminement simultané de deux allumages immédiatement consécutifs. Il faut toujours laisser au moins un « trou » entre deux allumages, c'est-à-dire en disposant de 10 ampoules, on ne peut en allumer que 5 à la fois.

Pour réduire le nombre des allumages simultanés, on dispose de la touche d'effacement. Elle n'éteint pas tout d'un seul coup (pour cela, il suffit d'arrêter l'appareil), mais seulement les allumages qui, normalement, iraient de Th_n à Th_1.

Une autre possibilité de programmation peut être obtenue par l'insertion d'un interrupteur dans la ligne de retour. Tout cheminement qu'on programme s'arrête alors nécessairement au dernier thyristor, et cela permet, par exemple, de lancer manuellement des « éclairs » mobiles, au rythme d'une musique. Si, lors d'un tel type de fonctionnement, on constate que Th_1 s'allume sans être commandé, il suffit de connecter une résistance de 560 Ω entre gâchette (G) et cathode (K) de ce thyristor.

Réalisation et installation

Les transistors, thyristors et triacs du montage peuvent être remplacés par une multitude de types équivalents ou semblables. Quant aux thyristors, on évitera cependant des types donnés pour une intensité de 2 A ou plus, car ils risquent de demander une intensité de gâchette supérieure à celle que le montage peut fournir.

Les triacs indiqués sont capables d'une intensité de commutation de 8 A. Si on se contente d'ampoules de moins de 250 W, on peut

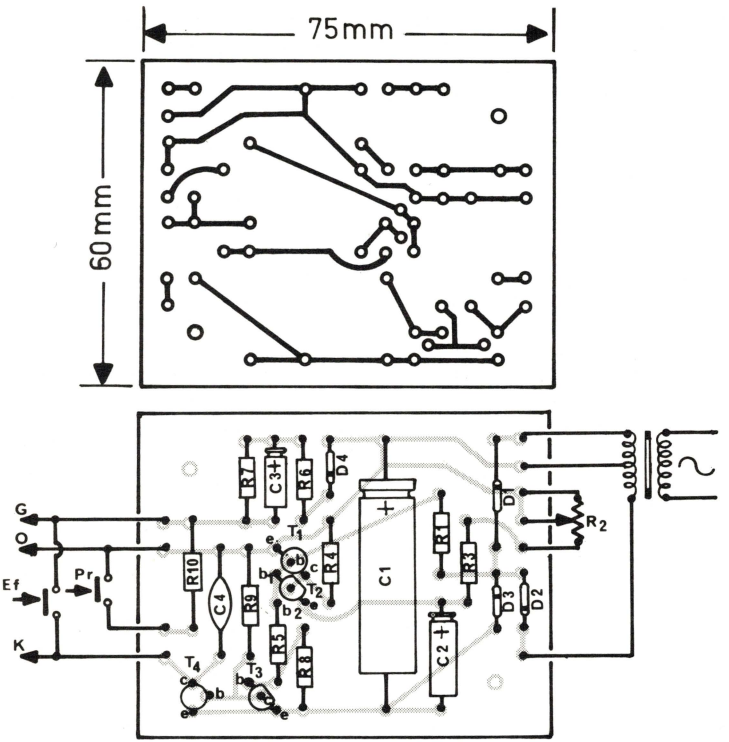


Fig. 3 – Ce circuit imprimé supporte l'unité de commande de la figure 2.

les utiliser sans radiateur. Dans le cas contraire, il est préférable de ne pas les monter sur un circuit imprimé, car la section des conducteurs risque alors d'être insuffisante.

La figure 3 montre la conception de la platine imprimée du module de commande, avec ses connexions externes. La disposition pratique des modules d'échelon est donnée par la figure 4. Ces modules sont tous identiques. On connecte le premier sur le module de commande, alors que sur le dernier, on laisse ouvertes les sorties «O» et «K», tandis que la sortie «G» est à ramener sur l'entrée «G» du premier.

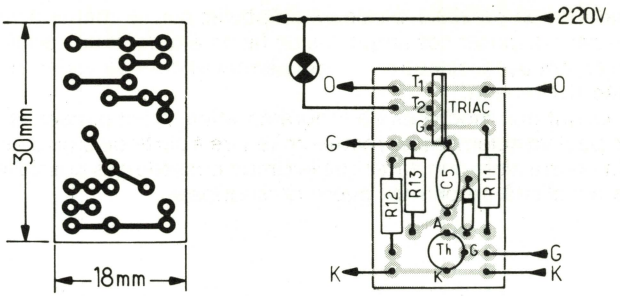


Fig. 4 – Plan de connexion et d'implantation d'un module d'échelon. Il faut en réaliser un, pour chaque allumage, et chaque échelon peut commander une ou plusieurs ampoules, connectées en parallèle.

Lors du montage et de l'installation, on devra prendre les précautions d'isolement qui s'imposent du fait que le montage entier est en liaison directe avec la prise de courant.

Quand on aura réalisé tous les circuits, il est prudent de vérifier un par un les platines d'échelons. On en connecte d'abord seulement deux en cascade, en bouclant (liaison G) le second sur le premier, et on devra alors observer un simple clignotement alterné. Ensuite, on augmente l'anneau d'un échelon supplémentaire, puis on passe à quatre échelons, etc. Cette méthode permet de vérifier les circuits un par un, et de détecter précisément d'éventuelles défaillances, dues à des composants ou à des erreurs de câblage. Cela est beaucoup moins commode, si on réalise immédiatement l'anneau entier, car on ne sait alors jamais, en cas de défaillance, si tel échelon fonctionne mal parce qu'il n'accepte pas le signal de commande ou parce que le précédent ne lui envoie pas ce signal.

Le nombre des échelons commandés peut, en principe, être quelconque, quand on ne laisse cheminer qu'un seul allumage. En effet, les échelons non commandés ne consomment aucun courant d'alimentation. Cependant, à partir de 30 ou 40 échelons, on risque d'avoir des difficultés, du moins si on prévoit des interconnexions relativement longues. Si on veut programmer plusieurs allumages simultanés, il faut, éventuellement, augmenter la puissance du transformateur d'alimentation, car avec un modèle de 5 W, on ne peut guère obtenir plus de 8 allumages simultanés, soit un total de 16 allumages, puisqu'on ne peut jamais faire fonctionner simultanément deux échelons voisins. Mais cela n'empêche qu'on puisse

installer, en parallèle, plusieurs ampoules sur un même échelon, et on peut disposer ces ampoules de façon à obtenir un certain entrelacement avec les autres, ce qui permet encore de varier les modalités d'allumage.

Quant aux modalités de programmation, mentionnées plus haut, on peut valablement les mettre en œuvre à partir de 5 ou 6 échelons. On pourra alors constater que le circuit possède des possibilités que sa simplicité ne permet guère de supposer.

12. – L'arbre de Noël et le registre à thyristors

Devenu électrique pour des raisons de sécurité, l'éclairage d'arbre de Noël est, en même temps, devenu trop statique, car il lui manque la vivacité de la flamme d'une bougie. Remédier à cela par un clignotant, c'est très grossier, et le chenillard, qui fait courir une lumière à toute vitesse sur les branches de l'arbre, ce n'est pas très reposant, et cela donne peu de lumière, pour un grand nombre d'ampoules à installer.

Il n'est pas difficile de trouver une solution plus harmonieuse, celle de l'illumination par vagues. Dans un premier temps, on allume progressivement toutes les ampoules, l'une après l'autre. Au moment où l'arbre est entièrement illuminé, la première ampoule (celle qui s'était allumée en premier lieu) s'éteint, puis les autres la suivent successivement, jusqu'au moment où il ne reste plus qu'une

seule ampoule allumée. Dès lors, le cycle recommence avec l'allumage successif des ampoules. L'effet est particulièrement agréable, quand le système fonctionne avec une cadence relativement lente.

Principe et schéma électrique

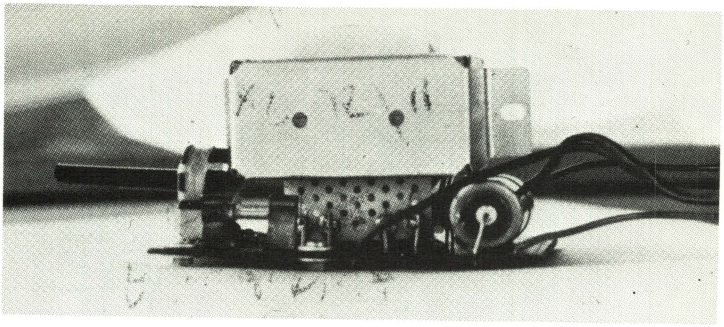
La figure 1 montre le schéma d'une installation complète, à dix allumages, ce nombre étant facilement extensible. Les circuits de commande d'ampoules sont tous pareils, sauf celui portant le numéro 1. Au pied de l'arbre, on a disposé l'unité de commande, comportant l'alimentation et un circuit impulsionnel qui provoque, de temps en temps, les brèves coupures d'alimentation qui sont nécessaires pour l'avance du registre.

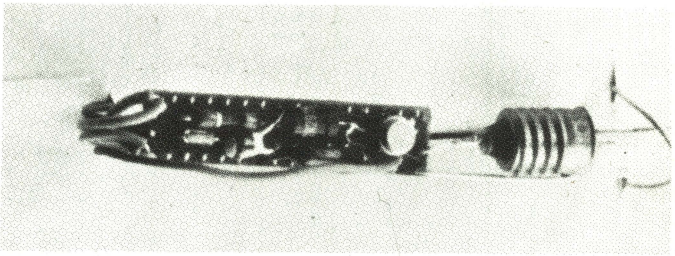
La production de l'impulsion de coupure est assurée par le transistor unijonction T_1. Sa durée est de quelques millisecondes, et sa cadence, d'une seconde environ au minimum, peut être augmentée, par le potentiomètre P, jusqu'à l'arrêt complet de la progression. Si on désire une cadence plus vive, il suffit de diminuer R_2 (10 kΩ minimum), et une plage d'ajustage plus large devient possible, si on prend P = 500 kΩ (log), R_1 = 1 MΩ, R_2 = 10 kΩ. L'utilisation d'un potentiomètre logarithmique permet un ajustage plus progressif de la cadence, à condition qu'on le connecte de façon que la cadence la plus rapide soit obtenue quand le potentiomètre se trouve tout à gauche.

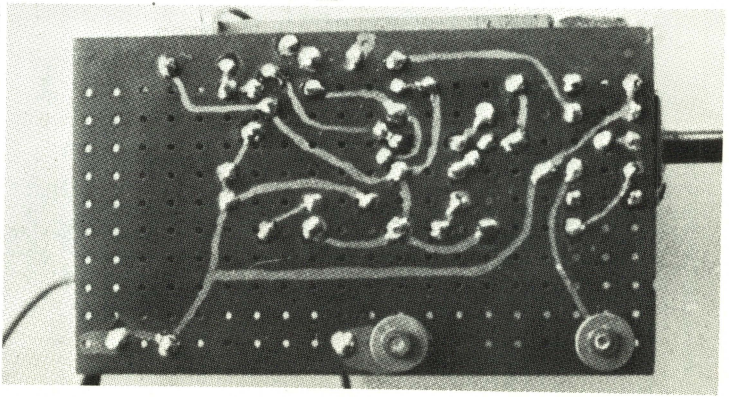
Les impulsions que T_1 produit dans R_4, R_5 provoquent la conduction de T_2. L'intensité dans R_6 qui sert normalement à provoquer la saturation de T_3, se trouve alors déviée par T_2. Au moment des impulsions, on obtient ainsi un blocage de T_3, ce qui équivaut à une interruption de l'alimentation. Comme T_3 fonctionne en interrupteur, il n'y a pas besoin de radiateur.

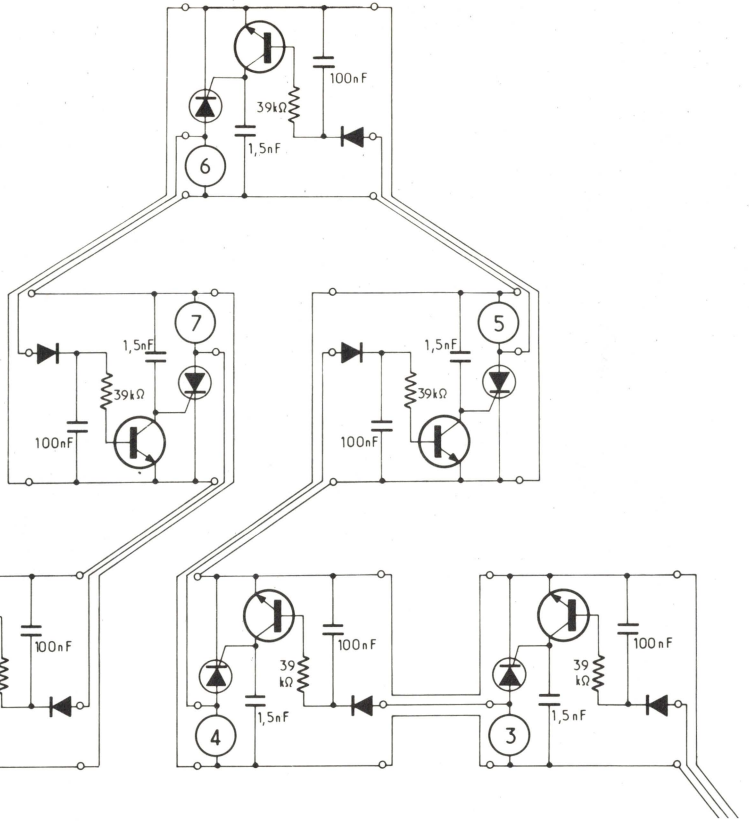
Fonctionnement du registre

Le circuit d'allumage et d'extinction progressif est basé sur le principe du registre à décalage, dans lequel chaque étage prend, au moment du « top d'horloge » (interruption instantanée de l'alimentation), l'état qu'avait auparavant l'étage précédent. Si on suppose, par exemple, que l'étage 1 (fig. 1) se trouve allumé à un moment donné, le thyristor de cet étage présente une tension très faible entre anode et cathode. De ce fait, le transistor de l'étage suivant reste bloqué, et, à la fin de la prochaine interruption d'alimentation, C_5 transmet sur la gâchette du thyristor 2 une impulsion qui provoque








100nF
39kΩ
1,5nF
6
7
1,5nF
39kΩ
100nF
5
1,5nF
39kΩ
100nF
8
39
kΩ
100nF
1,5nF
4
39
kΩ
100nF
1,5nF
3
39
kΩ
100nF
1,5nF

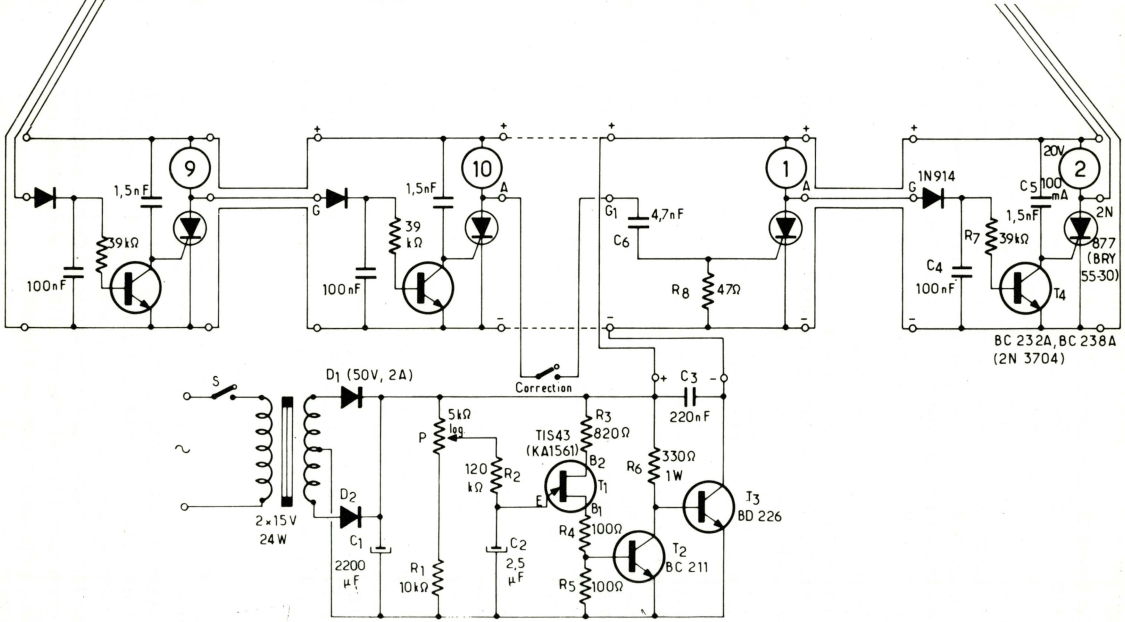


Fig. 1 – Chaque élément de cette guirlande est constitué par un étage d'un registre à décalage qui procède de façon périodique, à l'allumage successif et cumulatif de toutes les ampoules, puis à une extinction progressive.

l'amorçage de ce thyristor. L'ampoule 2 va donc s'allumer, ou se réallumer, si l'étage fonctionnait déjà pendant la phase précédente.

Si, en revanche, le thyristor commandant l'ampoule 1 se trouve bloqué à un moment donné, le condensateur C_4 de l'étage suivant se trouve chargé. Lors d'une brève interruption d'alimentation, il conserve une fraction suffisante de sa charge, pour maintenir T_4 saturé. Lors du rétablissement de l'alimentation, T_4 dérive donc vers la masse l'impulsion qui est alors transmise par C_5, et le thyristor 2 ne peut s'amorcer.

Le fonctionnement du registre provoque donc, si « 1 » est la seule ampoule allumée au départ, l'allumage successif et cumulatif de toutes les autres ampoules. Si, par contre, toutes les ampoules sont allumées sauf « 1 », elles vont s'éteindre progressivement.

Pour que le cycle se répète de façon alternante, il suffit de boucler le registre à décalage en introduisant une inversion de phase. C'est-à-dire que la première ampoule doit toujours prendre l'état inverse à celui que la dernière avait précédemment, alors qu'il doit y avoir transmission de l'état précédent dans le cas de toutes les autres liaisons. Ce bouclage est assez simple à réaliser en pratique. Puisque tout étage « normal » comporte un transistor assurant une inversion de phase, il suffit d'omettre ce transistor dans l'étage de transition, et d'effectuer la liaison par simple condensateur (fig. 1, entre étages 10 et 1).

Lors de la mise sous tension, les divers étages du registre se trouveront dans des états qui sont difficiles à déterminer d'avance. Certaines ampoules s'allument, d'autres restent éteintes. Comme ces états se transmettent à chaque avance du registre, on risque d'arriver à un clignotement plus ou moins confus. Pour y mettre l'ordre prévu, il suffit de couper l'interrupteur « correction » (fig. 1) et d'attendre, jusqu'à ce que toutes les ampoules se soient successivement éteintes. Si on referme alors l'interrupteur de correction, l'ampoule 1 va s'allumer immédiatement, et le cycle normal peut commencer.

Extensions

Le principe du registre à décalage permet une réalisation sous forme de guirlande, avec une liaison par seulement trois fils, entre deux circuits consécutifs. Ces circuits étant réalisés sous forme de bougies, on peut les installer directement sur l'arbre, et la longueur des divers fils de liaison peut atteindre un mètre. Cela permet une installation nettement plus aisée que dans le cas de clignotants individuels, ou d'un chenillard à circuit intégré, et où on aboutit souvent à un arbre portant plus de fils que de branches.

Avec dix ampoules (20 V, 100 mA), on arrive à une consommation maximale de 1 A, et si on effectue les liaisons en fil assez fin ($\varnothing \leqslant 0{,}5$ mm), la chute de tension ne reste pas négligeable. Cela est sans influence sur le fonctionnement du registre, mais peut provoquer une certaine inégalité quant à l'éclairement des ampoules. On aura donc avantage à alimenter la guirlande de façon bilatérale (connexions pointillées de la figure 1, entre « 10 » et « 1 »).

Le circuit de commande de la figure 1 a été expérimenté avec un maximum de 15 circuits d'allumage. Si on désire un plus grand nombre d'ampoules, ou si on veut installer des ampoules consommant plus de 0,1 A, il est nécessaire d'augmenter la puissance du transformateur d'alimentation, la valeur de C_1, et de modifier l'étage de sortie. Exemple : 20 ampoules de 0,2 A, 20 V, soit une puissance installée de 80 W. Un transformateur de 75 W suffira, puisqu'on sous-alimente légèrement les ampoules, pour ne pas obtenir une lumière trop blanche, et puisque qu'il est relativement rare que toutes fonctionnent simultanément. Pour le filtrage, on prendra $C_1 = 6800\ \mu F$, précédé de diodes supportant 5 A. Pour T_2, on utilisera un BD 226 ou similaire, et un 2 N 3055 pour T_3, avec $R_6 = 47\ \Omega$, 8 W.

Une autre modalité d'extension consiste dans l'installation, sur un même arbre, de deux guirlandes indépendantes, de 10 à 15 ampoules. Comme les deux circuits fonctionneront sur des fréquences légèrement différentes, on observera un battement. A certains moments, presque toutes les ampoules sont simultanément allumées ou éteintes, et à d'autres, l'un des circuits (en haut de l'arbre, par exemple) est au maximum d'allumages, alors que l'autre est au minimum. On arrive à des combinaisons très agréables du fait de la multitude des variations régulières.

Réalisation des circuits

La figure 2 montre le plan de connexion et l'implantation du module de commande. Ce plan a été conçu de façon qu'on puisse fixer la platine directement sur le transformateur d'alimentation qui constitue la pièce la plus lourde du montage. Comme la platine supporte également le potentiomètre, on obtient ainsi un bloc complet, facile à fixer, dans un boîtier, par les trous de fixation du transformateur.

Comme il existe plusieurs manières de disposer les cosses d'accès sur un transformateur, il convient de signaler que celui de la maquette est du type 2 × 15 V, 24 W. Il existe également des

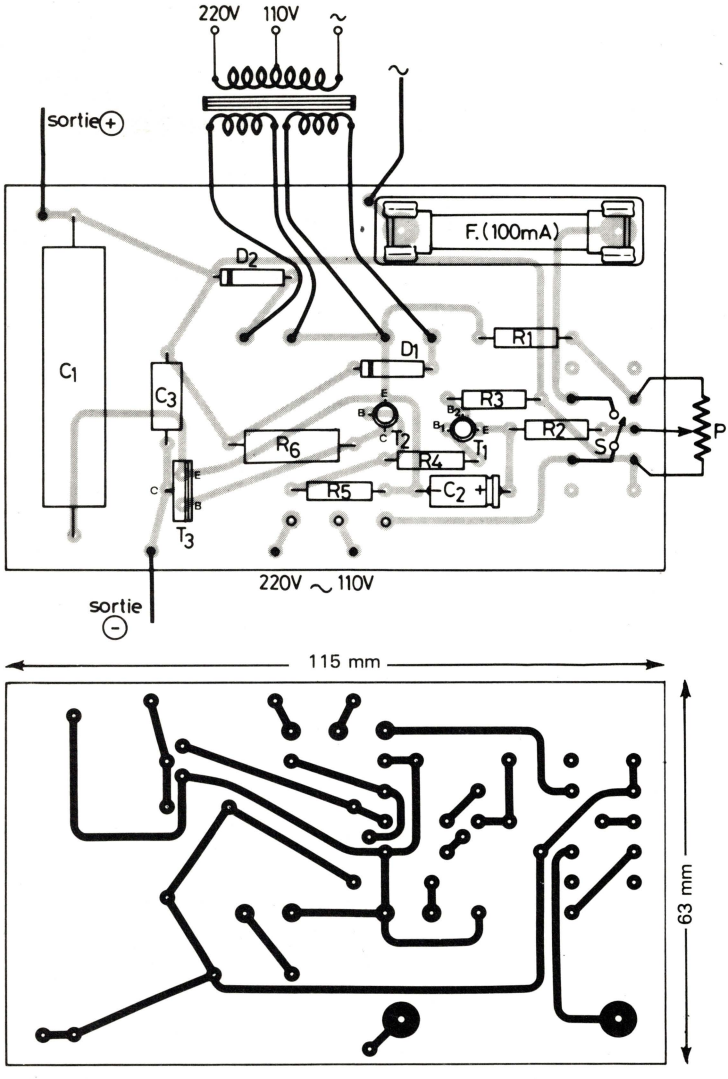


Fig. 2 – Plans de connexion et d'implantation du module d'alimentation et de commande. Dimensions : 63 x 115 mm.

transformateurs 2 × 15 V, 25 W, dont l'utilisation ne pose aucun problème d'ordre électrique, mais dont les dimensions sont totalement différentes. En tout cas, le plan de la figure 2 a été conçu – et a même été légèrement modifié, par rapport à la maquette – de façon qu'on puisse facilement l'adapter à un transformateur d'un autre type.

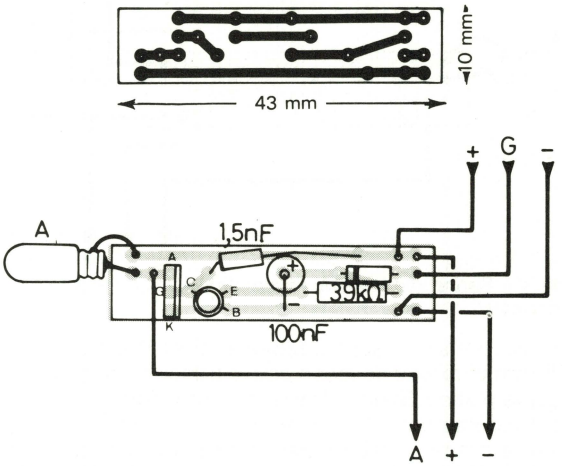


Fig. 3 – Ce circuit est identique pour tous les étages du registre, sauf pour le premier. Pour lui donner l'aspect d'une bougie, il suffit de l'entourer d'une bande de papier calque. Dimensions : 10 x 43 mm.

La figure 3 montre qu'on peut réaliser les circuits de commande d'ampoules sur une platine de 10 × 43 mm . Excellente occasion d'utiliser ces petites chutes de copper-clad ou de Veroboard que vous avez toujours si soigneusement conservées. Si on veut faire comme dans le cas de la maquette, c'est-à-dire entrer le circuit dans un tube de bakélite d'un diamètre intérieur de 10 mm, il faut travailler de façon assez précise. Lors du découpage de la plaquette Veroboard de 4 bandes, il faut limer les bords latéraux jusqu'à ce que la lime morde sur les bandes extrêmes. Diode et résistance (1/4 W ou 1/8 W) sont à installer de façon normale, alors qu'il faut laisser les fils du condensateur de 100 nF (au tantale, type « goutte ») assez longs, de façon qu'on puisse le replier sur le montage. Les

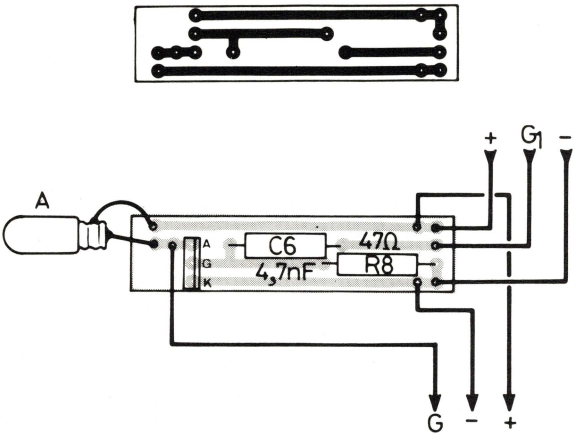


Fig. 4 – Platine imprimée de l'étage d'inversion du registre à décalage.

connexions du transistor sont à rabattre (E et B à ras du fond du boîtier, C 5 mm plus loin) de façon que le transistor appuie avec son côté plat sur la platine. Si on utilise un thyristor sous enrobage plastique, il faut légèrement allonger la platine, de façon qu'on puisse l'installer de la même manière. Par contre, un thyristor en boîtier « punaise » (TO 46) peut être installé « debout ». En dernier lieu, on procède à la mise en place du condensateur de 1, 5 nF qu'on soude, avec une extrémité, sur la connexion de collecteur du transistor.

Et si, ensuite, cela ne rentre pas dans votre tube de bakélite, sachez qu'on peut parfaitement limer les soudures sur les bandes extérieures de la plaquette, si elles accrochent, et que même le boîtier en plastique d'un transistor peut supporter un coup de lime assez copieux. Mais ce qui est peut-être plus simple, c'est d'entourer le montage d'une bande de papier calque, collée sur elle-même, et cela donne, accessoirement, un aspect « bougie » assez convaincant.

Après la fabrication des circuits, on a avantage à les essayer un par un. Les types de transistors, indiqués dans la figure 1, ont des tolérances relativement réduites, mais il peut arriver, notamment si on expérimente d'autres types, que gain en courant ou tension de saturation ne correspondent pas à l'application envisagée. Pour la vérification, on connecte d'abord le circuit avec ses seules entrées « + » et « − » sur le module de commande. L'ampoule doit alors s'allumer, au plus tard lors de la première impulsion d'interruption.

Si, ensuite, on relie également l'entrée « G » sur le « + »., l'ampoule doit s'éteindre dès la prochaine impulsion d'interruption. Si elle ne le fait pas, et si toute erreur de connexion est exclue, il convient d'utiliser un transistor de gain plus fort. Ce gain doit être voisin de 100 à I_C = 50 mA.

Lors de la réalisation de la guirlande, on commence par la platine de la figure 4, qui correspond au circuit « 1 » de la figure 1. Dès qu'on y a ajouté deux autres étages (fig. 3), on procède à un premier essai, et on vérifie ainsi le fonctionnement chaque fois qu'on installe un nouvel étage. Si on constate que deux ampoules, se faisant suite dans la guirlande, s'éteignent simultanément, c'est que le gain en courant du transistor du second des deux étages est trop élevé. Pour y remédier, il suffit de porter la résistance du circuit de 39 à 68 ou 100 kΩ. La valeur de C_6 (allumage 1, fig. 4) est à augmenter si la transition n'a pas lieu après l'allumage de toutes les ampoules. Il est à diminuer si tout s'éteint avant l'allumage de la première ampoule.

Le montage sera au point quand tous les allumages avanceront normalement. Cependant, pour qu'il arrive également à point, il faut peut- être encore conseiller au réalisateur de synchroniser l'avance de son montage aussi avec le calendrier.

13. – Le tapis volant électronique

Maintenir un objet suspendu, en dépit de la pesanteur, sans aucun lien matériel, c'est l'une des merveilleuses possibilités de l'électronique. Imaginez-vous que vous disposez d'un électro-aimant et d'un rhéostat pour ajuster l'intensité électrique qui le parcourt. En-dessous de l'aimant, vous placez un petit objet en fer, de façon qu'il puisse être attiré dès que le courant est établi, et devant le rhéostat, vous mettez un petit bonhomme qui, très rapidement, réduit l'intensité dans l'aimant chaque fois que l'objet monte trop haut; et qui l'augmente, lorsqu'il a tendance à tomber.

Bien entendu, aucun opérateur humain ne pourrait effectuer cet ajustage avec la rapidité nécessaire. Et même si on lui facilite le travail, en effectuant l'expérience de suspension dans un liquide visqueux, il se fatiguera bien vite. En revanche, une suspension parfaitement stable, dans l'air, devient possible, si vous embauchez, pour manœuvrer votre rhéostat, ce petit bonhomme qui s'appelle M. Electronique.

Servomécanisme optoélectronique

Comme le montre la figure 1, la stabilisation de l'objet suspendu, attiré par l'électro-aimant L, se fait par un rayon lumineux, produit par l'ampoule A et frappant le phototransistor Ph. Ce dernier commande, après amplification par les trois transistors du montage, l'intensité dans L de façon que cette intensité augmente avec l'éclairement de Ph. Ainsi, tout mouvement de l'objet vers le bas (pouvant être dû à un courant d'air) provoque un éclairement plus important de Ph, d'où une augmentation de l'intensité dans L, et une attraction plus forte de l'objet. Mais si ce dernier tend à s'approcher trop de l'aimant, il obscurcit le phototransistor, ce qui revient à une diminution de l'intensité dans L, donc à une attraction moins forte.

Mais comme l'opérateur humain, le servomécanisme ne peut réagir immédiatement. Il est affecté d'une certaine « constante de temps », due notamment à la durée de l'établissement du courant dans la bobine de l'électro-aimant. De ce fait, l'objet qu'on présente à l'électro-aimant tomberait après quelques vibrations d'amplitude croissante, si on ne procédait pas à une compensation de phase, faisant intervenir les éléments C_1, R_4, C_2, R_5. De plus, on peut agir sur la stabilité par le potentiomètre P_1, déterminant le point moyen de fonctionnement de l'amplificateur.

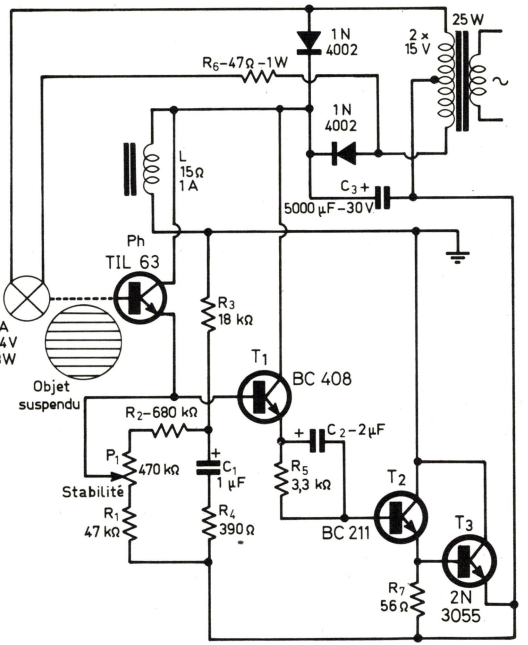


Fig. 1 – La suspension électronique est basée sur un électroaimant à commande optoélectronique.

Les données du montage correspondent à une puissance disponible de 15 W environ, ce qui est suffisant pour maintenir un objet de quelques grammes à une distance de 10 à 15 mm de l'électro-aimant. Moyennant un prix de revient plus élevé, on pourrait utiliser ce principe avec des puissances plus grandes, ce qui permettrait d'obtenir des effets plus spectaculaires.

Réalisation

L'électro-aimant a été réalisé à l'aide d'un transformateur de récupération, muni de tôles en forme de E et de I. Ce sont seulement les tôles en forme de E qu'on utilisera, et la figure 2 montre les dimensions du jeu de tôles de la maquette. La carcasse de bobinage

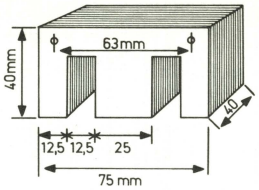


Fig. 2 – Dimensions du circuit de tôlerie utilisé pour le bobinage.

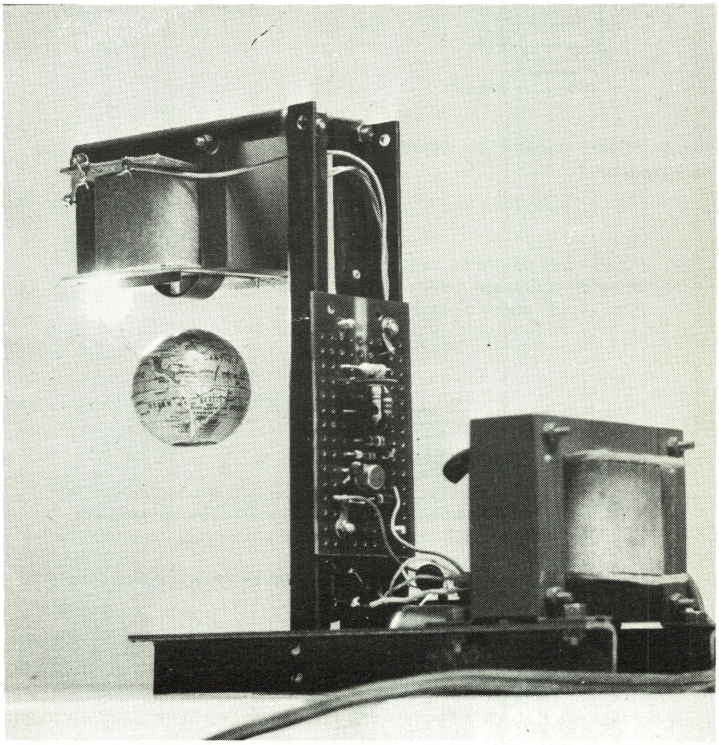


Fig. 3 – La régulation d'attraction est basée sur l'ampoule visible à gauche et sur un phototransistor qui se trouve monté sur face cachée de la platine imprimée.

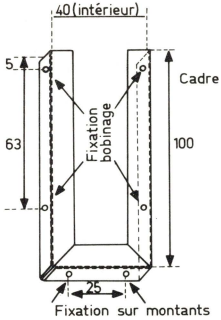


Fig. 4 – Cadre servant au maintien de l'électroaimant.

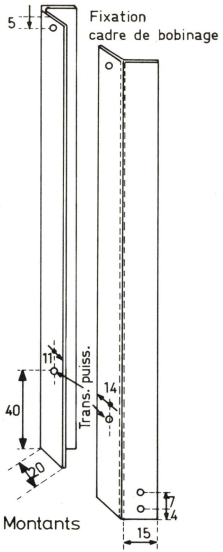


Fig. 5 – Les montants supportent le transistor de puissance, et le circuit imprimé, ainsi que le cadre du bobinage.

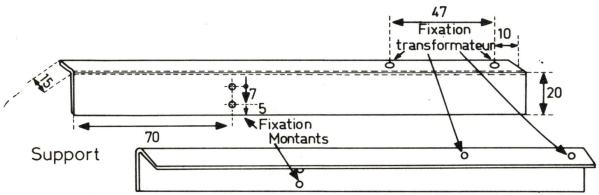


Fig. 6 – Support de l'assemblage de la figure 3.

est à remplir entièrement (près de 1 000 spires) de fil émaillé de 0,5 mm, soit une longueur de fil de 175 m environ, ou un poids de fil de près de 350 g.

Des tôles de dimensions un peu plus grandes sont parfaitement utilisables, et on peut alors même obtenir un meilleur rendement, si on utilise un fil très légèrement plus gros. Ce qui est important, c'est de mesurer, sur le bobinage terminé, la résistance qu'il présente en courant continu. La valeur nominale, correspondant aux indications de la figure 1, est de 15 Ω. Mais, suivant le mode de bobinage

ou la dimension des tôles, on risque d'obtenir une valeur légèrement différente. On peut alors corriger par le choix correspondant de la valeur nominale de la tension délivrée par le transformateur d'alimentation, tension qui devra être de 12 V, pour une résistance comprise entre 10 et 12 Ω, de 15 V ensuite, et ce jusqu'à 17 Ω, puis de 18 V jusqu'à 25 Ω, de 21 V entre 25 et 35 Ω, et de 25 V de 35 à 50 Ω.

Pour réaliser l'assemblage qu'illustre la photo de la figure 3, on commencera par la confection du cadre de la figure 4, lequel supporte le bobinage et dont les dimensions sont, le cas échéant, à modifier en fonction de la tôlerie utilisée pour ce bobinage. Pour ce cadre, on utilisera de la cornière de 10 x 10 mm, alors qu'une cornière de 15 x 20 mm a été prévue pour les montants de fixation de la figure 5. Le support est constitué par deux cornières de même type, et les dimensions sont indiquées dans la figure 6.

Bien que la cornière d'aluminium ou de laiton serait plus jolie, c'est bien du fer qu'il convient d'utiliser, car l'assemblage forme, comme le montre la figure 3, un circuit magnétique en U autour de l'objet suspendu. Pour que celui-ci ne semble pas se trouver trop près de l'aimant, on en prolonge la partie centrale en coinçant une tôle de transformateur, arrondie par pliage en forme de U, entre la carcasse et la tôlerie du bobinage. Dans le creux de cette tôle en U, on place un gros écrou en acier, pour améliorer la conduction magnétique.

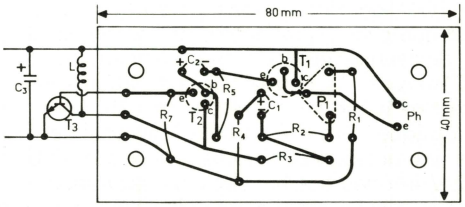


Fig. 7 – Platine imprimée de l'amplificateur de régulation.

Les types de transistors du montage de la figure 1 ne sont donnés qu'à titre indicatif, et on peut utiliser de nombreux types de remplacement. La platine imprimée, représentée dans la figure 7, ne supporte que les éléments de taille réduite. Les diodes de redressement pourront être montées directement sur le transformateur, et le condensateur de filtrage, C_3, a été logé entre les deux pièces

du support de la figure 6. Le transistor de puissance, T_3, se trouve fixé sur les montants (fig. 5) qui lui servent également de radiateur.

Ces montants supportent également le circuit imprimé de la figure 7. Le phototransistor est à souder sur la face cuivrée de ce circuit, et ce en laissant une longueur de connexion de 15 mm. Ainsi, ce phototransistor vient « regarder » par la fente entre les deux montants. Lors du percement des trous de fixation (non indiqués dans la figure 5) pour le circuit imprimé, on s'arrangera pour que le phototransistor se trouve placé 15 à 20 mm environ en-dessous du point le plus bas de l'électro-aimant. L'ampoule est à fixer en face, sur le cadre du bobinage, et ce de façon qu'on puisse la déplacer légèrement vers le haut et vers le bas. On la munira d'un réflecteur qui pourra être constitué par un petit morceau de tôle brillante, plié en U.

Expérimentation

Avant d'effectuer des essais de suspension, on pourra vérifier le fonctionnement du montage en connectant un voltmètre aux bornes de L. En manœuvrant le curseur de P_1, on constatera que celui-ci permet, sur une partie de la plage d'ajustage, de réduire la tension aux bornes de L en-dessous de la valeur de saturation, laquelle doit être approximativement égale à la tension d'alimentation, soit de 15 V environ. En ajustant, par P_1, la tension aux bornes de L à une valeur de 5 à 10 V, on modifie maintenant l'orientation du phototransistor ainsi que celle du réflecteur de l'ampoule, jusqu'à ce que cette tension devienne maximale. Si on atteint, au cours de cette opération, de nouveau la tension de saturation mentionnée plus haut, il convient de la réduire en retouchant P_1. Lorsque la voie de transmission optique aura été ajustée à un transfert maximal, on place P_1 dans une position déterminant, aux bornes de L, une tension de 1 à 2 V inférieure à la valeur de saturation.

Si l'objet qu'on présentera maintenant à l'électro-aimant semble trop lourd pour être maintenu, il convient de remonter légèrement l'ampoule. Si l'objet se trouve soumis à des oscillations, il convient également de modifier la hauteur de l'ampoule, et de ne retoucher P_1 que si cette modification est sans résultat. La meilleure stabilité sera observée pour une tension aux bornes de L mesurée en état de suspension comprise entre la moitié et les quatre cinquièmes de la tension d'alimentation, soit entre 7,5 et 12 dans le cas d'une alimentation sous 15 V. Avec des tensions plus faibles, l'objet se met facilement à vibrer, alors qu'il décroche au moindre choc dans le cas de tensions plus fortes.

Pourvu qu'ils soient en matière magnétique, les objets les plus divers sont utilisables. Ainsi, la mappemonde visible sur la photo de la figure 3 se vend, dans certaines papeteries, en tant que taille-crayon. Le taille-crayon proprement dit a d'ailleurs été enlevé, à des fins d'allègement, mais en se contentant d'une distance de supension plus réduite, on peut le laisser. Cela parce que les non initiés, voyant pour la première fois une suspension électronique, demandent souvent : « Qu'est-ce qu'il y a dans la boule ? » Si vous leur présentez alors l'objet qu'elle contient, et si vous arrivez à garder votre sérieux en affirmant que c'est sur le taille-crayon qu'est basé le fonctionnement de l'engin, il pourra arriver qu'on vous croie !

Un objet de suspension également spectaculaire est un petit bonhomme homme sur un tapis volant. Pour ce dernier, on peut utiliser une de ces minces plaques de mousse de matière plastique qu'on trouve comme matériau d'emballage. Le personnage peut être constitué par une poupée en celluloïd, à moins qu'on ne préfère le façonner dans une mousse genre polystyrène expansé (isolant thermique). Pour que cela devienne magnétique, il suffit de coiffer la tête du voyageur par un casque de fer, constitué, par exemple, par un morceau de tôle de transformateur, plié en U. L'avantage de cette disposition, c'est que le tapis, dont les dimensions pourront être de 5 x 8 cm environ, forme, avec l'air ambiant, un amortisseur de déplacement, ce qui fait qu'on évitera plus sûrement les vibrations que dans le cas d'un objet lisse.

Cela n'empêche que la supension électronique, même à une puissance aussi restreinte que celle de la version décrite, puisse également trouver des applications utilitaires. Ne vous est-il jamais arrivé, par exemple, d'avoir peint un objet métallique sur toutes ses faces, et de ne pas avoir su, ensuite, sur laquelle le poser, pour le faire sécher ?

ACHEVÉ D'IMPRIMER
SUR LES PRESSES DE LA
SOCIÉTÉ PARISIENNE
D'IMPRIMERIE
70, rue Compans - 75019 PARIS
Dépot légal : 2e trimestre 1979
Nº éditeur : 241 - Nº imprimeur : 107

7 000 ex

MONTAGES ELECTRONIQUES
divertissants et utiles

5

L'électronique de divertissement relève des applications plus ou moins inattendues, étonnantes et spectaculaires de l'électronique.
Pourtant, l'électronique est une science, plutôt sérieuse, imposante et respectable.
L'auteur de ce livre montre que l'un n'exclut pas l'autre, et qu'on peut très bien, tout en s'amusant, acquérir des connaissances précieuses et solides. Il décrit, avec ce talent pédagogique qui a déterminé le succès de ses nombreux ouvrages, des montages simples, divertissants et néanmoins utiles, qu'il a lui-même réalisés. Et puisque l'auteur de ce livre est également renommé pour son souci du détail, vous n'aurez aucune difficulté à le suivre, dans la compréhension aussi bien que dans la réalisation des montages qu'il vous propose.

ETSF

Éditions
Techniques et
Scientifiques
Françaises